



Universidad Pública de Navarra  
Nafarroako Unibertsitate Publikoa



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA Y BIOCENCIAS**  
**NEKAZARITZAKO INGENIARITZAKO ETA BIOZIENTZIETAKO GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA**

Trabajol fin de Master

SISTEMA DE APLICACIÓN DE PURINES (SECTOR PORCINO): BALANCE DE NITRÓGENO,  
HUELLA HÍDRICA GRIS Y HUELLA DE CARBONO

*Masterraren azken proiektua*

presentado por

JOSE SANTIAGO DE ESTEBAN DE ESTEBAN

*aurkeztua*

MÁSTER UNIVERSITARIO EN AGROBIOLOGÍA AMBIENTAL  
UNIBERTSITATE MASTERRA INGURUMEN AGROBIOLOGIAN

Dirigido por

MAITE MARTÍNEZ ALDAYA y CORINA IRIS RODRÍGUEZ

*Zuzendaria*

Febrero, 2021 / 2021ko, Otsaila



Universidad Pública de Navarra  
Nafarroako Unibertsitate Publikoa



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA Y BIOCENCIAS**  
**NEKAZARITZAKO INGENIARITZAKO ETA BIOZIENTZIETAKO GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO**

Trabajo fin de Máster/ *Masterraren azken proiektua*

SISTEMA DE APLICACIÓN DE PURINES (SECTOR PORCINO): BALANCE DE NITRÓGENO,  
HUELLA HÍDRICA GRIS Y HUELLA DE CARBONO

Presentado por José Santiago De Esteban De Esteban para optar al título de Máster Interuniversitario en Agrobiología Ambiental, realizado en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y Biociencias de la Universidad Pública de Navarra, bajo la dirección de Maite Martínez Aldaya y Corina Iris Rodríguez, en Pamplona a 19 de febrero de 2021.

Fdo./Stua.:

**Maite Martínez Aldaya**

Directora/Zuzendaria

Fdo./Stua.:

**Corina Iris Rodríguez**

Directora/Zuzendaria

Fdo./Stua.:

**J. Santiago De Esteban De Esteban**

Estudiante/Ikasklea

## **AGRADECIMIENTOS**

Quisiera agradecer a las personas que han hecho posible que pueda realizar este trabajo, y en especial a las directoras: Maite M. Aldaya, por haberme abierto la puerta a este trabajo y su dedicación total a llevarlo adelante, y Corina Iris Rodríguez, por su aporte continuo en todos los detalles y seguimiento desde Argentina.

Esther González, tutora y responsable del Máster, por su disposición y aporte de soluciones cuando fueron necesarias.

Al servicio de postgrado de la UPNA, por su total disposición para afrontar los cambios administrativos en tiempos de pandemia.

Leire Zubieta, estudiante actual del Máster, por su colaboración con los mapas de escorrentía y SIG, y a todos mis compañeros del Máster en Agrobiología Ambiental tanto en Pamplona como en Leioa, por todo lo que me han permitido aprender de ellos.

Por último, a toda mi familia y amigos que me apoyaron en la decisión de volver a la universidad a determinada edad y que soportaron el compaginarlo con ellos.

## RESUMEN

Debido al incremento del sector porcino en España, han aflorado diversos problemas de contaminación ligados a las pérdidas de N donde se aportaban los purines como fertilización.

El trabajo analiza un balance de N de una explotación agrícola cerealista de trigo y maíz donde se han producido diferentes prácticas agrarias en la fertilización nitrogenada con purín porcino. Se ha calculado la huella de carbono y huella hídrica gris ligadas al proceso de fertilización nitrogenada en parcela.

Los resultados del balance de N han expresado que tanto las pérdidas por volatilización de  $\text{NH}_3$ , las emisiones de GEI ligadas al proceso y los lixiviados de N por las aguas de escorrentía, están relacionadas directamente con las prácticas de fertilización nitrogenada y los sistemas de incorporación del purín al suelo. La utilización de un código de buenas prácticas agrarias resulta vital para disminuir las pérdidas de N a aire, suelo y agua.

**Palabras clave:** Fertilización nitrogenada; Huella hídrica gris; Huella de carbono; Purín porcino; Balance de N; Volatilización de amoníaco; Gases de efecto invernadero; Lixiviado de nitratos.

## ABSTRACT

Due to the increase of the pig sector in Spain, various pollution problems have arisen linked to the losses of N where slurry was provided as fertilization.

The study analyses a N balance of a cereal farm of wheat and maize where different agricultural practices have occurred in N fertilization with pig slurry. The carbon footprint and grey water footprint linked to the N fertilization process on a plot have been calculated.

The results of the N balance have expressed that  $\text{NH}_3$  volatilization losses, process linked GEI emissions and N leachates by runoff waters are directly related to N fertilization practices and the systems of incorporation of slurry into the soil. The use of a code of good agricultural practices is key to reduce N losses to air, soil, and water.

**Key words:** Nitrogen fertilization; Grey water footprint; Carbon footprint; Pig slurry; Nitrogen balance; Ammonia volatilization; Greenhouse gases; Nitrate leaching.

**Abreviaturas:**

<b>BOE</b>	<b>Boletín Oficial del Estado</b>
<b>CHE</b>	<b>Confederación Hidrográfica del Ebro</b>
<b>C/N</b>	<b>Relación Carbono Nitrógeno</b>
<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>Dióxido de Carbono</b>
<b>CO<sub>2</sub> eq</b>	<b>Equivalente en CO<sub>2</sub></b>
<b>EC</b>	<b>Comisión Europea</b>
<b>GEI</b>	<b>Gases de Efecto Invernadero</b>
<b>GWF</b>	<b>Huella hídrica gris</b> <i>(por sus siglas en inglés, Grey Water Footprint)</i>
<b>Ha</b>	<b>Hectárea</b>
<b>HC</b>	<b>Huella de carbono</b>
<b>NH<sub>3</sub></b>	<b>Amoníaco</b>
<b>MAPA</b>	<b>Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación</b>
<b>MITECO</b>	<b>Ministerio para la Transición Ecológica</b>
<b>M.O.</b>	<b>Materia orgánica</b>
<b>M.S.</b>	<b>Materia seca</b>
<b>N</b>	<b>Nitrógeno</b>
<b>N<sub>2</sub>O</b>	<b>Óxido nitroso</b>
<b>NO<sub>3</sub></b>	<b>Nitrato</b>
<b>SIG</b>	<b>Sistemas de Información Geográfica</b>
<b>SIMPA</b>	<b>Sistema Integrado de Modelización Precipitación Aportación</b>
<b>T.M.</b>	<b>Término municipal</b>
<b>UE</b>	<b>Unión Europea</b>
<b>UF</b>	<b>Unidades fertilizantes</b>
<b>WPL</b>	<b>Nivel de contaminación del <i>agua</i></b> <i>(por sus siglas en inglés, Water Pollution Level)</i>

## INDICE

1. Introducción	7
2. Antecedentes	8
2.1. Situación del sector porcino	8
2.2. Hitos medioambientales – Normativa	9
2.3. Aplicación de purines en agricultura	11
2.3.1 Purines, procedencia descripción y características	11
2.3.2. Sistemas de aplicación	13
2.3.3. Volatilización de nitrógeno según sistemas de aplicación	18
2.4 Ciclo del N en el suelo	21
2.5. Huella de carbono	22
2.5.1. El concepto de huella de carbono	22
2.5.2. Huella de carbono en sistemas de aplicación de purines	22
2.6. Huella hídrica	22
2.6.1. El concepto de huella hídrica	22
2.6.2. Huella hídrica en sistemas de aplicación de purines	23
3. Objetivos	23
4. Área de estudio	23
4.1. Ubicación, características del terreno y climatología	24
4.2. Cultivos y fertilización nitrogenada	24
5. Metodología	28
5.1. Balance de N	28
5.2. Huella de carbono	29
5.3. Huella hídrica gris	30
6. Análisis e interpretación de resultados	32
6.1. Balance de N	32
6.2. Huella de carbono	34
6.3. Huella hídrica gris	35
7. Discusión y conclusiones	37
8. Referencias bibliográficas	39
9. Anexos	42

## 1. INTRODUCCION

El sector porcino en España se ha visto incrementado notablemente en los últimos 10 años (MAPA, 2020).

De la figura 1 se desprende que dentro del sector porcino son las explotaciones de Cebo las que contribuyen a este crecimiento. El incremento del censo porcino lleva consigo un aumento paralelo del estiércol líquido porcino, denominado comúnmente como "purín" (Andreu et al., 2006).

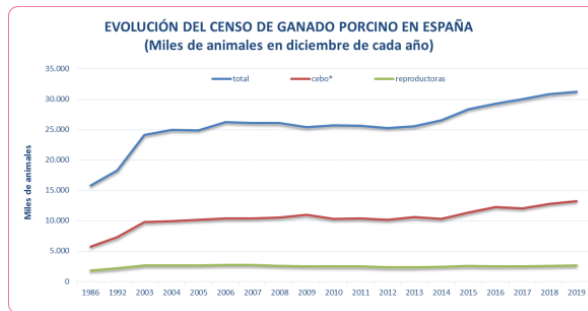


Figura 1. Gráfico de evolución de la producción porcina en España. Fuente: SG Análisis, Coordinación y Estadística (MAPA, 2020)

La problemática en la gestión de estos purines se plantea sobre todo en zonas de elevada concentración ganadera, siendo objeto de atención. Si bien se han propuesto distintas alternativas de gestión del purín enfocadas a su tratamiento, hasta ahora todas ellas presentan inconvenientes sin resolver, ya sean de viabilidad medioambiental o económica.

Por el contrario, la aplicación del purín como fertilizante al suelo cultivado, en dosis agronómicas y medioambientalmente adecuadas, es el método más económico para gestionar el purín y constituye además uno de los mejores ejemplos de reciclaje de nutrientes en el sistema suelo-cadena trófica. No obstante, existen riesgos de contaminación derivados de la aplicación de purines al suelo agrícola. Es frecuente ver como existe un problema de contaminación por nitratos en aguas de escorrentía y subterráneas en zonas de elevada concentración ganadera, e igualmente, existe un riesgo potencial elevado de contaminación atmosférica por volatilización de N en forma amoniacal en el proceso de aplicación de los purines (Ovejero et al, 2014).

La huella de carbono, inicialmente asociada con el concepto huella ecológica, es uno de los indicadores ambientales que ha alcanzado mayor difusión en los últimos años, debido fundamentalmente a la creciente preocupación en el planeta por uno de los mayores problemas ambientales a nivel global como es el cambio climático. La huella de carbono representa las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) medidos como CO2 equivalente que produce una organización, un producto, un proceso industrial o la prestación de un servicio puesto a disposición del consumidor.

La huella hídrica corresponde con el volumen de agua dulce consumida y contaminada para la producción de bienes y servicios usados por el consumidor. Resulta un indicador novedoso que tiene su relevancia como marcador de forma global del impacto de las actividades económicas sobre los recursos hídricos de una demarcación hidrográfica.

Hasta el momento la mayoría de este tipo de trabajos no consideran los diferentes tipos de aplicación de purines en agricultura ya que estos resultan de reciente implantación en el sector. (Aldaya et al., 2020; Hoekstra and Mekonnen, 2015).

En este trabajo, conocidos todos aquellos riesgos de contaminación derivados del proceso de fertilización, aplicación de purines y factores que lo condicionan, se analiza cómo influyen los diferentes métodos de aplicación de purines para uso agrícola en la contribución a las pérdidas de N

En base a los datos de entradas y salidas de una explotación agrícola cerealista donde se utilizan técnicas de fertilización con purín de porcino, se realiza un cálculo del balance de N en la explotación para los cultivos de maíz y trigo, se evalúa la huella de carbono y la huella hídrica gris.

Se analiza como la gestión de una explotación agrícola y diferentes prácticas agrarias pueden influir en relación con el tema tratado.

Finalmente, se hace un repaso por la legislación actual que existe al respecto en el marco de la Unión Europea (UE) y sus estados miembros, y se muestran las carencias y limitaciones que puedan existir a tal efecto al objeto de poner incidencia en la resolución de un problema que no termina de acotarse desde la perspectiva legal.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. Situación del sector porcino

El sector porcino español tiene una importancia clave en la economía de nuestro país ya que, según la subdirección general de Análisis, Coordinación y Estadística del MAPA, supone en torno al 14% de la Producción Final Agraria en el año 2018, y con perspectivas de crecimiento.

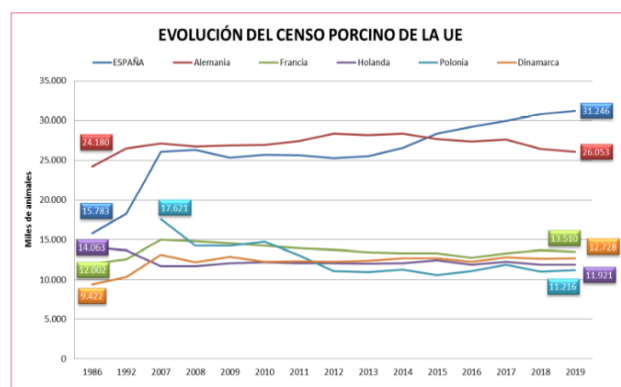


Figura. 2. Evolución del sector porcino en la Unión Europea: fuente: EUROSTAT y SG Análisis, Coordinación y Estadística (MAPA, 2020)

Dentro de las producciones ganaderas, el sector porcino ocupa el primer lugar en cuanto a su importancia económica alcanzando cerca del 39% de la Producción Final Ganadera. A nivel mundial, España es la tercera potencia productora (después de China y EEUU) mientras que, a nivel europeo, España ocupa el primer lugar en producción con un 19% de las toneladas producidas, seguido de Alemania a quien ha superado en los últimos años (véase fig. 2) (MAPA, 2020).

Durante los últimos años el sector porcino ha crecido notablemente, tanto en producción, como en censos y en número de explotaciones, gracias al empuje de los mercados exteriores y apoyado, a su vez, en la competitividad del sector en el mercado mundial.

Este aumento de la producción ha incrementado el problema asociado a la gestión de los purines, lo que conlleva a un análisis detallado del mismo.



## 2.2. Hitos medioambientales – Normativa

La contaminación por eutrofización de las aguas superficiales o acuíferos con los distintos nutrientes para las plantas, lleva consigo, la contaminación de los suelos por una aplicación excesiva de fiemos o cuando se producen lluvias poco después de la aplicación. Se produce porque el flujo del agua infiltra nitratos y otros compuestos en las aguas subterráneas o corrientes y provoca la eutrofización, es decir, el exceso de nutrientes en el agua y la proliferación de plantas llamadas «mareas verdes» en arroyos, ríos, lagunas y lagos.



*Figura. 3. Cauze con flujo de aguas de escorrentía en Berbinzana (Navarra). Fuente: Santiago De Esteban (2021)*

La actividad ganadera influye sobre el medio ambiente, pudiendo incidir en la calidad del aire, del agua y del suelo. Los

suelos agrícolas están sujetos a la aplicación directa de contaminantes por el uso de fertilizantes orgánicos tratados inadecuadamente y el uso excesivo de fertilizantes minerales. La correcta gestión del N en el empleo de fertilización orgánica es esencial para disminuir la contaminación de las aguas superficiales y profundas, especialmente en las zonas vulnerables a nitratos y que queda regulado a través del Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias (BOE, 1996).

La producción agrícola y ganadera ha sido identificada como una de las principales fuentes de gases de efecto invernadero en el Simposio mundial sobre contaminación del suelo, celebrado en Roma (FAO, 2018). Los ponentes identificaron la modificación de los suelos con estiércol, purines y lodos de depuradora, como una de las principales fuentes potenciales de contaminación del suelo en los terrenos agrícolas.

Los GEI son emisiones que están limitadas por diferentes normas de rango internacional como son la Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de noviembre de 2010, sobre emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación)(EU, 2010), o la Directiva (UE) 2016/2284 del Parlamento Europeo y del Consejo de 14 de diciembre de 2016, relativa a la reducción de las emisiones nacionales de determinados contaminantes atmosféricos, entre los que se incluye el amoníaco (UE, 2016).

Igualmente en el marco sobre clima y energía para 2030 dentro del Pacto Verde Europeo, en septiembre de 2020, la Comisión Europea propuso elevar el objetivo de reducción de las emisiones de GEI para 2030, incluidas las emisiones y absorciones, hasta al menos el 55% con respecto a 1990.

La Comisión ha estudiado las medidas necesarias en todos los sectores, y ha iniciado el proceso de presentación de propuestas legislativas a más tardar en junio de 2021 para alcanzar ese objetivo (EC, 2021 a).

A este respecto, la reciente Estrategia de la Comisión Europea “de la granja a la mesa” contribuye hacia un sistema alimentario más saludable y sostenible como piedra angular del Pacto Verde Europeo (EC, 2021 b).

Está claro que los residuos orgánicos tienen un gran potencial para aumentar la materia orgánica y fertilidad del suelo y contribuir a aumentar la producción de cultivos, pero es necesario elaborar, fortalecer e implementar las normas y directrices internacionales sobre el uso de fertilizantes orgánicos para asegurar que no se liberen contaminantes al medio ambiente con su uso.

A nivel mundial, los suelos son la principal fuente de  $N_2O$  para la atmósfera. Las emisiones agrícolas debidas al uso de fertilizantes y abonos ricos en N, junto con las emisiones naturales de los suelos, representan el 56,70% de todas las fuentes de  $N_2O$  a nivel mundial (Syakila and Kroeze, 2011).

La Comisión Europea arroja luz sobre el polémico Decreto de Purines aprobado por el Ministerio de Agricultura y que, a partir del 1 de enero de 2018, penaliza en las ayudas de la Política Agraria Comunitaria (PAC) el esparcido de purines al aire mediante cisterna con plato, abanico o cañón, los sistemas más utilizados, y regulado a través del Real Decreto 1378/2018, de 8 de noviembre, por el que se modifican los Reales Decretos 1075/2014, 1076/2014 y 1078/2014, todos ellos de 19 de diciembre, dictados para la aplicación en España de la Política Agrícola Común (BOE, 2018).

El argumento del Ministerio es reducir las emisiones de amoníaco de origen agrícola, aplicando técnicas que minimicen la volatilización de N de los purines, tales como los tubos colgantes o el enterrado. De no hacerlo España se expone a una sanción de la Comisión Europea.

A la hora de redactar este informe, nos encontramos a la espera de que se publique en España el Real Decreto de fertilización agraria que regulará las prácticas agrarias en referencia a la aplicación de fertilizantes nitrogenados en el sector, tanto de fuentes inorgánicas como orgánicas de origen pecuario. En el anexo 1 se incorpora la nota de prensa del Ministerio sobre la apertura del periodo de exposición pública del borrador del Real Decreto el pasado 23/09/2020.

Las reticencias por parte del sector en cuanto a la entrada en vigor de las exigencias referidas en la diversa normativa vienen motivadas por la inseguridad de que tales medidas vayan a ser las definitivas y que tales exigencias acarreen fuertes inversiones en el sector que reclaman sean contempladas de una forma valiente en los planes de mejora o reestructuración agraria.

### 2.3. Aplicación de purines en agricultura

Dada la utilidad que los purines de porcino presentan como fertilizantes orgánicos para la agricultura, estos son utilizados como tales en el sector. El purín almacenado en las fosas de las instalaciones ganaderas debe ser extraído mediante cisternas y transportado hasta las parcelas agrícolas donde será aplicado.

Esta ha sido una práctica utilizada desde la existencia del propio sector porcino en sistema intensivo o semi-intensivo de cría

del ganado, donde se acumulan cantidades importantes de purín que son almacenadas en balsas que permiten gestionar el producto en épocas que el mismo no puede ser aplicado al terreno por diferentes motivos, y posponer la aplicación a épocas de mejor conveniencia climatológica y agronómica.



*Figura 4. Balsa de acumulación de purines en explotación de porcino. Fuente: Santiago De Esteban (2021)*

#### 2.3.1 Purines, descripción, características y problemática

El purín es el líquido formado por las orinas de los animales y lo que rezuma del estiércol.

Tradicionalmente se han usado para producir abono y compost. Hay diversos tipos de clasificaciones ya que dependiendo de su origen tienen diferentes propiedades.

Son generalmente residuos, resultado de una mezcla de orina, la parte líquida que rezuma de todo tipo de estiércoles de animales y usualmente agua que se forma al reunir los desechos de animales domésticos. Junto a otros materiales orgánicos entre los que destacan los residuos sólidos urbanos, los purines tienen utilidad para la producción de compost.

Los purines de cerdos de criadero son los más conocidos ya que son muy contaminantes, sobre todo debido a la concentración porcina en diversos puntos, por lo cual su control es obligatorio en España mediante el Real Decreto 261/96, que es la trasposición de la Directiva 91/676 de la Unión Europea, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura.

En la actualidad se está estudiando el reciclaje y revalorización de los purines de cerdos para diversos usos, entre ellos para la obtención de metano con una planta de biogás, para su uso como abono o bien incluso mejorando sus propiedades con el objetivo de poder depurar el agua residual de purines, entre otros usos.

Los purines contienen importantes nutrientes (véase tabla 1) que usados como fertilizante mediante aplicación al suelo favorecen el crecimiento y rendimiento de los cultivos. No obstante, el contenido de nutrientes del purín es muy heterogéneo. Su composición de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) varía principalmente según la especie animal, el tipo de alimentación, tipo y estado de las instalaciones, el régimen de

estabulación, la época de aplicación y el tiempo de permanencia en la fosa o balsa, entre muchos otros factores (Parera, 2010).

**Tabla 1.** Caracterización del purín de varias explotaciones de porcino según tipo de producción.

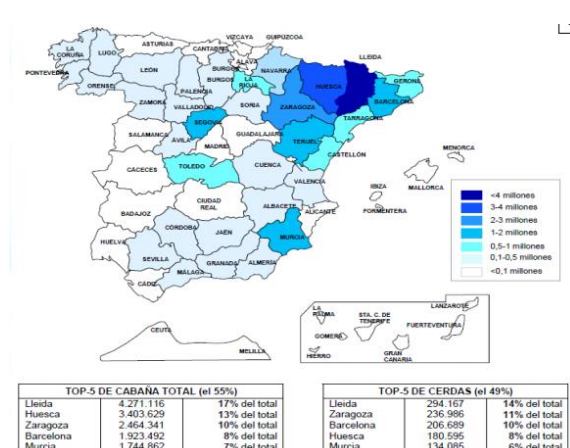
Fuente: GESFER (2010).

	Engorde (nº: 123)			Cerdas (nº: 92)			Ciclo cerrado (nº:90)		
	media	Min	Max	media	Min	Max	media	Min	Max
N amoniacal (kg/m <sup>3</sup> )	4,0	1,0	7,2	2,0	0,5	4,9	2,5	0,7	5,5
N total (kg/m <sup>3</sup> )	5,9	1,2	9,8	2,6	0,6	6,4	3,5	0,9	7,5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	3,2	0,2	13,6	1,7	0,1	9,4	2,2	0,1	10,0
K <sub>2</sub> O (kg/m <sup>3</sup> )	4,4	1,1	9,8	1,9	0,2	4,8	2,5	0,9	6,5
CE (mS/cm)	30,4	10,7	46,2	18,5	6,2	37,9	21,9	10,5	38,2

La aplicación al suelo de residuos animales y humanos, para su utilización por los cultivos, es una práctica agrícola ancestral. Son las peculiaridades del producto, la aplicación inadecuada, la intensidad y la escala del proceso, así como el progresivo deterioro del medio receptor los que justifican la preocupación sobre un uso excesivo.

Considerados como un recurso propio, que siendo un residuo de un proceso pueden ser materia prima para el propio proceso o procesos paralelos. La gestión y correcta utilización de este recurso dentro del esquema productivo de la explotación debe traducirse en un beneficio económico global, y en el mantenimiento, o mejora, del valor del suelo como valor patrimonial de la explotación (COGAP, 2018). Esta aplicación al suelo no puede realizarse de forma indiscriminada, sino que es preciso que se adapte (forma, cantidad, momento) a las posibilidades que ofrecen el suelo y el cultivo.

Los problemas de contaminación consecuencia del uso de purines como fertilizante al campo, se hacen visibles tras el desarrollo del sector porcino y la acumulación de explotaciones en determinadas regiones. Analizando un mapa de España, se refleja como en determinadas regiones el censo porcino es considerablemente superior a otras, y precisamente es en esas regiones donde comienzan a surgir determinados síntomas de uno de los problemas de contaminación ligados a la aplicación de purines como es la contaminación de las aguas por el lavado de nitratos (véase figura 5).



**Figura. 5.** Distribución provincial de efectivos porcinos españoles. Fuente: MAPA (2020).

El aplicar purines a las tierras agrícolas tiene un coste que se incrementa considerablemente con la distancia de las fincas a las balsas de acumulación de las explotaciones ganaderas. Por tanto, las zonas más próximas a las granjas son más favorables a la aplicación de purines en términos de rentabilidad económica. Ello ligado a la acumulación de explotaciones ganaderas en determinados territorios hace que exista una sobredosis en las aplicaciones continuadas sobre el terreno y que, en determinadas épocas del año, se produzcan lixiviados del purín que acaben en las aguas subterráneas y



superficiales. Coincide que las noticias de aparición del problema de contaminación de aguas por nitratos suceden en zonas de elevada carga ganadera.

Otro de los problemas que presentan los purines almacenados en balsas con el tiempo es la decantación. Se entiende que en el purín existen compuestos de distintas densidades y con el tiempo los sólidos con mayor densidad pasan a decantarse en el fondo de las balsas. Con objeto de asegurar una buena homogeneidad de la mezcla de los compuestos del purín, es necesario remover las balsas previo a la captación del purín para su aplicación en agricultura (véase fig. 6). De esta manera nos aseguramos de que el reparto en campo es homogéneo y en consecuencia la dosis de N aplicado.



*Figura 6. Batidor de balsa de purines.  
Fuente: Santiago De Esteban (2021)*

### 2.3.2. Sistemas de aplicación de purines

Existen distintos métodos de aplicar los purines al terreno, los cuales han ido evolucionando en tecnología en los últimos años consecuencia de la necesidad de controlar y reducir las pérdidas de N que se producen en su aplicación.

En este estudio se pretende comparar los diferentes modelos existentes, y para ello los vamos a categorizar en 3 grupos distintos atendiendo a sus características que los diferencian: plato o abanico; tubos colgantes; inyección directa.

De forma general podríamos clasificarlos en función de la disposición del purín en el terreno entre esparcido localizado y esparcido aéreo en toda la superficie.

Tradicionalmente la aplicación de purines se venía realizando mediante el sistema de esparcido aéreo comúnmente llamado de abanico. Posteriormente se han ido introduciendo los sistemas de aplicación localizada dentro de los que caben destacar los de aplicación en bandas localizadas a nivel de superficie y los de inyección directa que introducen el purín de forma mecánica a una determinada profundidad.

Todos ellos poseen características peculiares que los identifican, y se ven influidos por diferentes condicionantes a la hora de su elección. Mayoritariamente serán determinantes los costes de afrontar la inversión de la maquinaria, la uniformidad en el reparto de purines, la maniobrabilidad en las dosis de aplicación y las pérdidas de N en la aplicación del purín entre otros.

### 2.3.2.1 Sistema de plato (aspersión en abanico)

Corresponde con el sistema tradicional más usado. Consiste en la proyección de un chorro a presión sobre un plato de unas determinadas dimensiones e inclinación que produce tras el impacto una aspersión del purín en abanico con una anchura de proyección variable que se proyecta e impacta sobre el terreno donde se aplica (véase fig. 7). Con este método se producen importantes pérdidas de N ya que el fluido es pulverizado en gotas de aspersión que



Figura. 7. Sistema de aplicación de purín en abanico.  
Fuente: Santiago De Esteban (2021)

generan el abanico y que discurren un determinado tiempo desde que son proyectadas por el plato de salida hasta que caen al terreno. La superficie del fluido en contacto con la atmósfera aumenta considerablemente y consecuencia de ello se produce un aumento de la volatilización de N en forma de amoniaco. Tal circunstancia quedará también sujeta a las condiciones atmosféricas que se den en el momento de la aplicación. Una temperatura elevada favorecerá también la volatilización de N amoniacal (COGAP, 2018). Tradicionalmente ha sido el sistema más usado ya que la tecnología a este respecto no se ha desarrollado hasta la última década, y en realidad era el único método existente desde que se desarrollaron los sistemas de cría de ganado intensivos y semi-intensivos. Hoy en día, pese a que se dispone ya de tecnología moderna para la aplicación de purines, en España sigue siendo el sistema más implantado debido a que es el sistema más económico a la hora de afrontar la inversión, y de que las medidas legales que exigen una reducción de las emisiones de GEI y contaminantes a la atmósfera no terminan de funcionar.

Las principales ventajas que presenta este sistema son que además del menor importe de la inversión a realizar, no presenta problemas de obturaciones al no disponer de un circuito laborioso, y no se requiere de gran potencia de tracción. En el mercado se pueden encontrar cisternas desde 4 m<sup>3</sup> de capacidad.

Los inconvenientes son varios. Por un lado, el reparto del purín es muy sensible al factor viento, la aplicación es poco homogénea ya que se producen solapes y zonas de carencia, la distribución es poco uniforme y existe una dificultad de regulación de anchura y dosis. Por otro lado, y referido a los temas medioambientales, se produce una alta dispersión de olores y volatilización de N y en las zonas de pendientes considerables cabe el riesgo de escorrentía superficial.

Con este sistema el purín queda depositado en superficie y para disminuir las pérdidas por volatilización de N tras la aplicación se recomienda proceder con técnicas que permitan su incorporación al suelo como el enterrado mecánico o la aplicación de riego (Smith et al., 2015).

### 2.3.2.2. Aplicación localizada en bandas

También llamado de tubos colgantes, se compone de una tubería principal que sale con presión de la cuba y que abastece a un triturador que a su vez distribuye el purín a varias mangueras que cuelgan sobre una estructura metálica (parrilla) que los extiende cada aproximadamente 40 cm a lo largo de todo el ancho de trabajo de en torno a 15 m (véase fig. 8). La función del triturador es la de evitar obturaciones



Figura 8. Sistema de aplicación de purín por tubos colgantes.  
Fuente: Santiago De Esteban (2021)

de los conductos mejorando la uniformidad y viscosidad del purín mezclando bien todo el fluido, y asegurar un reparto uniforme a lo largo de todas las mangueras repartidoras.

Las mangueras colgantes depositan el purín en chorros a ras de superficie, evitando así su contacto con la atmósfera en el proceso de aplicación. No obstante, el purín se queda en superficie en contacto con la atmosfera una vez realizada su aplicación hasta que no sea incorporado al suelo con una labor de arado o con técnicas de incorporación como pueda ser la utilización del riego para su dilución (donde se disponga de regadío).

Permite llevar a término aplicaciones en post emergencia del cultivo acoplando a los tubos colgantes unas zapatas que van deslizándose por el terreno sorteando las líneas de siembra y por ello evitando daños por contacto al follaje del cultivo.

Como principales ventajas presenta: una mayor uniformidad en el reparto de purín al no influir la acción del viento sobre el vertido que se deposita a nivel de suelo y en consecuencia la volatilización de N también es menor, permite ajustar anchos de trabajo con dentro de un margen variable entre 10 y 16 m. Permite aplicaciones con mayor control sobre las dosis, incluso trabajar a dosis bajas. Y presenta muy buena uniformidad de la aplicación y reparto muy homogéneo.

El mayor inconveniente que presentan estos sistemas son los problemas de obturación de conductos por el purín, por ello es necesario incorporar un triturador que bate y homogeniza el purín. Esto conlleva también un mayor coste que de por sí ya tienen estos equipos.

Como el purín se deposita en superficie, existe riesgo de escorrentía en laderas y con dosis altas. Además, de no incorporarse el purín al suelo tras la aplicación, sigue en contacto atmosférico y en consecuencia continúan las pérdidas por volatilización de  $\text{NH}_3$ . Por ello supone una reducción poco importante respecto a tales pérdidas si no se manejan prácticas agrícolas adecuadas.

### 2.3.2.3 Enterrado con inyección directa

Consiste en aplicar el purín enterrándolo a una profundidad variable en función del tipo de aplicador que suele oscilar entre los 10 y 40 cm (véase fig. 9). El purín es distribuido a través de unos tubos que salen a presión de la cuba hasta unas rejas o discos que envuelven el purín con la capa superficial del terreno, evitando totalmente el contacto de este con la atmosfera y en consecuencia reduciendo las pérdidas por volatilización de N al máximo.



*Figura 9. Sistema de aplicación de purín por inyección directa.  
Fuente: lavozdeltrubia.es (2018)*

Como el apero de aplicación ofrece una resistencia de arrastre por ir este enterrado a una determinada profundidad, además del mayor peso de la propia maquinaria, se requiere una mayor potencia de tracción que en los sistemas anteriores, y presenta por ello ciertos problemas de compactación del suelo en determinados momentos de aplicación en función de la climatología y del estado del terreno.

En la mayoría de los aplicadores de este tipo se requiere de un triturador para evitar obturaciones en el circuito de reparto (tuberías y rejas aplicadores).

Las aplicaciones con este sistema serán siempre en pre-siembra del cultivo, ya que este método trabaja la tierra al tiempo que incorpora el purín al terreno y en consecuencia destruiría el cultivo implantado.

Presenta como principales ventajas una buena uniformidad en el reparto del purín e importante disminución de las pérdidas de N por volatilización. También es obvio considerar que no requiere incorporado posterior a su aplicación.

Los inconvenientes de este sistema son de diversa índole, y que sin duda afectan hoy en día en la toma de decisión al afrontar la inversión ya que estos sistemas son de elevada cuantía.

Se producen obturaciones difíciles de percibir, pues el sistema de aplicación va enterrado (rejas), y ello nos daría lugar a un reparto desigual mientras perdure la obturación. Requiere de un triturador para evitar obturaciones.

Las anchuras de trabajo máximas son de en torno a 5-6 m, y no obstante requiere grandes potencias de tracción, con lo que aumenta el consumo energético incrementando el coste económico de la labor de aplicación al mismo tiempo que la huella de carbono del proceso, dependiendo del tipo de combustible.

Presenta una distribución muy separada de cada banda de aplicación (50 cm), necesaria para evitar el embozamiento y atascos del apero de aplicación.



A continuación, se muestra un cuadro resumen de todas las ventajas e inconvenientes descritos sobre los diferentes sistemas de aplicación de purines de acuerdo con la clasificación de estos (véase tabla 2).

**Tabla 2.** Cuadro resumen ventajas e inconvenientes sistemas de aplicación purín.

Sistemas de Aplicación	Ventajas	Inconvenientes
Abanico	<p>La inversión no muy elevada.</p> <p>No presenta problemas de obturación.</p> <p>No precisa gran potencia de tracción.</p>	<p>Sensible al factor viento.</p> <p>Aplicación poco homogénea.</p> <p>Regulación anchura y dosis.</p> <p>Alta dispersión de olores.</p> <p>Importante volatilización de Nitrógeno.</p> <p>Escorrentía superficial en pendientes.</p>
Tubos colgantes (con o sin zapatas)	<p>Mayor uniformidad.</p> <p>No influencia del viento.</p> <p>Menor volatilización de N.</p> <p>Ajustes anchos de trabajo hasta 16m.</p> <p>Mayor control sobre las dosis.</p> <p>Posibilidad de trabajar a dosis bajas.</p> <p>Reparto muy homogéneo.</p>	<p>Necesidad de triturador.</p> <p>Posibles obturaciones.</p> <p>Mayor coste de inversión.</p> <p>Riesgo de escorrentía en pendientes.</p>
Inyección directa	<p>Buena uniformidad de reparto.</p> <p>Bajas pérdidas de N por volatilización.</p> <p>No requiere incorporado posterior.</p>	<p>Obturaciones difíciles de percibir.</p> <p>Poca anchura de trabajo.</p> <p>Requiere grandes potencias de tracción.</p> <p>Maquinaria muy pesada (compactación).</p> <p>Requiere de un triturador.</p>

### 2.3.3. Volatilización de nitrógeno según sistemas de aplicación

Según se desprende del gráfico adjunto en la figura 10, las pérdidas por volatilización de  $\text{NH}_3$  suponen entorno al 50 % del N producido en las excretas de los cerdos (purín fisiológico) en su proceso productivo.

Gran parte de las pérdidas de N se producen en el momento de su aplicación, como consecuencia del contacto del purín con la atmósfera, y de la alta capacidad que tiene el  $\text{NH}_3$  de volatilizarse. Como se verá más adelante, en la descripción y composición de los purines, la mayor parte del

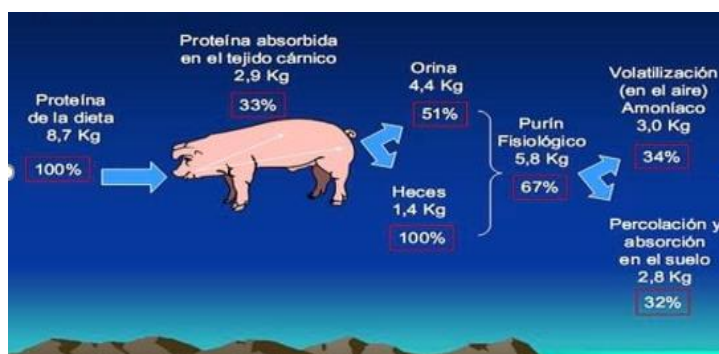


Figura 10. Dinámica de utilización del N en el proceso productivo porcino. Fuente: Ajinomoto Nutrición (2000)

N contenido en el purín se encuentra en forma amoniacal ( $\text{NH}_3$ ).

Se ha realizado un análisis bibliográfico de varios artículos donde se investiga la relación que diferentes sistemas de aplicación de purines tienen en cuanto a la disminución de las pérdidas de N en forma de  $\text{NH}_3$  a la atmósfera.

Pocos estudios determinan las pérdidas reales por volatilización de  $\text{NH}_3$  en aplicaciones de purín en agricultura (Martínez-Lagos et al., 2013; Ovejero et al., 2014). La mayoría de ellos trabajan el tema de igual manera comparando el porcentaje de pérdidas de  $\text{NH}_3$  que se reduce en las emisiones a la atmósfera con varios sistemas de aplicación frente a una aplicación con sistema de abanico sin enterrado posterior (véase tabla 3).

Los diferentes sistemas de aplicación estudiados llevan a término la aplicación de una forma muy distinta en cuanto al contacto que el purín va a tener con la atmósfera, por ello, cabe esperar que, las pérdidas por volatilización de N en forma  $\text{NH}_3$  serán distintas en función del sistema de aplicación. Cabría resaltar que cada uno de ellos afronta el tema con una visión más amoldada a las peculiaridades y versiones que cada sistema presenta en las regiones donde se han realizado tales estudios.

En la tabla 3 se muestra, a modo de resumen, la información extraída del análisis de los referidos artículos bibliográficos amoldada a nuestro resumen de los sistemas de aplicación de purines planteado.

Cabe destacar que no hay una uniformidad de criterios a la hora de realizar estos estudios de campo, y que todos ellos están influidos por las condiciones locales. Por ello se entiende necesario resaltar una serie de observaciones respecto al análisis de todos ellos en general.

Alguno de ellos contempla el uso del riego como práctica de incorporación del purín al ser este diluido en el agua y esta infiltrar en el terreno (Smith et al., 2015). Esta es una práctica que se está extendiendo entre el sector, y que facilita enormemente el manejo de la incorporación donde se cuente con regadío.

Aunque se ve que las emisiones de  $\text{NH}_3$  aumentan considerablemente con la temperatura y el viento, estos factores no son analizados en la mayoría de los estudios, solamente quedan reflejados como consideración (COGAP, 2018).

De igual forma no se suele considerar la orografía, y esta influye de forma importante en la escorrentía superficial si el purín no ha sido enterrado, y en consecuencia las pérdidas de N serán mayores. Algunos estudios refieren que altos valores de pendiente del terreno favorece la escorrentía superficial del purín aplicado (Andreu et al., 2006).



Figura 11. Aplicación de purín sobre cultivo de Colza en crecimiento. Fuente: Santiago De Esteban (2021).

La mayoría de los estudios se realizan en aplicaciones de purín sobre suelo desnudo, y por tanto se considera que son aplicaciones de fondo. En realidad, los sistemas de tubos colgantes permiten también aplicaciones en cobertera en determinados cultivos (véase fig. 11.), y la absorción del purín por el suelo es distinta si nos encontramos con una cubierta vegetal. Algunos estudios advierten que la absorción en este supuesto es mayor, y además esta es una de las ventajas de este sistema de aplicación (Dauden et al., 2003). La aplicación de purín con el sistema de abanico en post-emergencia del cultivo podría producir quemaduras en la parte vegetativa. (véase fig. 12.)

De forma global, todos ellos coinciden en que la incorporación del purín al suelo tras su aplicación (de forma inmediata) reduce hasta en un 80% las pérdidas de N por volatilización de amoníaco.

Por último, resulta curioso destacar que el hecho de reducir las pérdidas de amoníaco en la aplicación conlleva una mayor cantidad de N disponible en el suelo y por consiguiente se producirá un aumento de las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  a la atmósfera, contribuyendo en este caso al aumento de los GEI (Webb et al., 2010).



Figura 12. Esparcido de purín en cultivo con sistema de abanico (a) y daño causado en Colza (b). Fuente: Santiago De Esteban (2021)

**Tabla 3.** Cuadro comparativo de reducción de las pérdidas de NH<sub>3</sub> en los sistemas de aplicación de purines.

SISTEMA DE APLICACIÓN DE PURINES						
Referencias estudio:	Abanico		Tubos colgantes		Inyección directa	
	Enterrado 4 h.	Enterrado 24 h.	manguera	Zapata	abierto	cerrado
UNECE (2014)	45-65%	30%	30-35 %	30-60%	70%	80%
Curtis J et al. (2011)				40%		90%
COGAP (2018)			30-35%	30-60%	70%	90%
Daudén et al. (2003)			10-50%	40-70%	50-70%	70-90%
SODEMASA (2011)	40%	16%	40-50%		50%	
AGMA ARAGON (2017)	45-65%	30%	30-35%	30-60%	80%	
Hansen M. (2003)			30%	60%	70%	88%
Misselbrook et al. (2002)			26%	57%	73%	
Reitz et al. (1999)			40	50-60%	75%	
Smith et al. (2015)			30-75	38-90%	38-90%	
Webb el al. (2010)			37%	64	70%	80%

**OBSERVACIONES:**

En cuanto a la inyección directa, la diferenciación entre: abierto y cerrado, corresponde con la situación en la que se deja el suelo tras la misma, surco abierto o cerrado.

Para el caso del sistema de abanico se consideran 2 opciones: enterrarlo al suelo antes de las 4 ó 24 horas tras su aplicación.

Para los sistemas de tubos colgantes las 2 opciones distinguen entre si la salida es libre (mangueras) o se aplica con zapatas que lo incorporan superficialmente.



*Figura 13. Aplicación de purín sobre rastrojo de maíz. Comparativa sistema tubos colgantes y sistema abanico.*

*Fuente: Santiago De Esteban (2021)*



## 2.4. Ciclo del N en el suelo

El objeto de este apartado es contextualizar el balance y pérdidas de N analizadas en este trabajo dentro del ciclo de este nutriente en el suelo. Todo análisis efectuado está fundado en la teoría recogida en el Tratado de Fitotecnia General (Urbano, 2015).

El N está considerado como uno de los macronutrientes más importante relacionado con el crecimiento de los cultivos, del que se considera esencial.

Las formas en las que se encuentra en el suelo son varias, pero los cultivos lo absorben fundamentalmente como  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ . La diferencia radica en cuanto que el ion nitrato se encuentra disuelto en la solución del suelo y el ion amonio queda retenido en la superficie de las arcillas.

La cantidad de N en el suelo varía con la profundidad, disminuyendo hacia capas más profundas. Igualmente varía con la temperatura disminuyendo al aumentar esta última. La humedad también influye en su disponibilidad, y cuando aumentan las precipitaciones aumenta su disolución en el suelo.

En la fig. 14 queda representado el ciclo del N en el suelo donde se esquematizan los aportes, pérdidas y transformaciones.

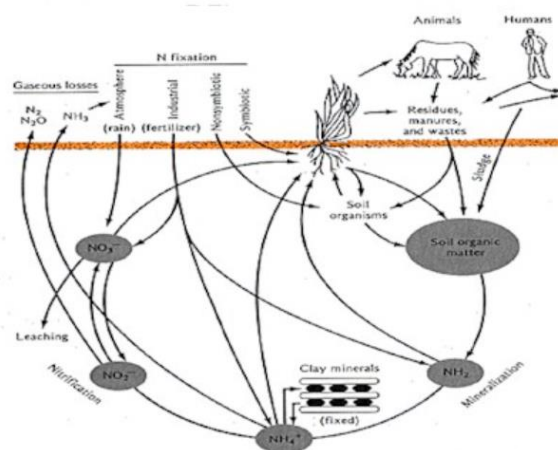


Fig. 14. Ciclo del nitrógeno en el suelo.

Fuente: Macmillan (1984).

En el suelo podemos encontrar 2 tipos de formas del N: orgánico, e inorgánico, siendo el orgánico mucho más abundante.

El estado del N en formas asimilables como  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$  y  $\text{NO}_2$ , procede de fuentes directas de aportes fertilizantes o de procesos de transformación en los que se producen diversas pérdidas.

El N aportado en formas inorgánicas como urea,  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  sigue los mismos procesos de reacción que el N liberado por los procesos bioquímicos a partir de residuos orgánicos.

En estos procesos llamados de nitrificación y desnitrificación, condicionados por varios factores como el pH, temperatura y humedad, intervienen los microorganismos del suelo transformando el N de unas formas a otras y consumiendo también cantidades de N para su propia actividad. Derivado de ello se libera  $\text{N}_2\text{O}$  a la atmósfera, considerado como GEI. También se libera  $\text{NH}_3$  que con facilidad es volatilizado a la atmósfera, siendo un gas acidificante y eutrofizante, y contabilizándose como una pérdida de N.

Pero sin duda alguna, la mayor pérdida de N suele ser en forma de  $\text{NO}_3$  como lixiviados por las aguas de lluvia, riego o escorrentía. El  $\text{NO}_3$  es una forma muy soluble de N que favorece la absorción por los cultivos, pero de igual forma está muy disponible para su dilución en el agua presente en el suelo y en consecuencia expuesto al riesgo de ser lavado por las aguas de escorrentía. Estas pérdidas suponen uno de los mayores problemas ambientales en la actualidad.

## 2.5. Huella de carbono

### 2.5.1. El concepto de huella de carbono

Es un indicador ambiental que pretende reflejar la totalidad de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto (MITECO, 2016)

Tras la aplicación de fertilizantes al suelo, se producen transformaciones de dichos fertilizantes a formas asimilables por los cultivos, en caso del N se libera  $N_2O$  a la atmósfera como consecuencia de los procesos de nitrificación y desnitrificación. El  $N_2O$  es considerado GEI con una capacidad de calentamiento 298 veces superior a la del  $CO_2$ . Por tanto, las pérdidas en esta forma, aunque sean pequeñas como valor de N, son de importancia en cuanto a su influencia en la huella de carbono y deben ser contabilizadas como  $CO_{2eq}$ .

### 2.5.2. Huella de carbono en sistemas de aplicación de purines

Existen pocos estudios sobre huella de carbono en relación con los diferentes tipos de aplicación de purines (AGMA ARAGON, 2017; Curtis et al., 2011; Hansen et al., 2003; Smith et al., 2015; UNECE, 2014;). Las referencias bibliográficas encontradas consideran la huella de carbono en los sistemas de fertilización como la influencia que tiene en la contribución a los GEI las emisiones de  $N_2O$  en los procesos de disponibilidad de los fertilizantes nitrogenados al suelo, mayoritariamente dependientes de los procesos de nitrificación y desnitrificación (Syakila & Kroeze, 2001; Webb et al. 2010)

Otros estudios también contabilizan los consumos energéticos que se producen en la actividad agraria y por tanto podrían considerarse también en la fertilización como huella de carbono ligada al proceso (Iguaces et al., 2007).

## 2.6. Huella hídrica

### 2.6.1. El concepto de huella hídrica

La huella hídrica puede considerarse un indicador integral de la apropiación de los recursos hídricos frente a la medida tradicional y restrictiva de la extracción de agua. La huella hídrica de un producto es el volumen de agua dulce usado para elaborar el producto, medido a lo largo de la cadena de suministro completa (Hoekstra et al., 2011).

Dentro del concepto de huella hídrica hay tres partes consideradas, la huella hídrica verde, azul y gris.

En cuanto a la importancia en nuestro análisis de las pérdidas en el balance de nitrógeno, y consideradas como una salida contaminante, nos será de utilidad el análisis de la huella hídrica gris que contabiliza la cantidad de agua que se requiere para asimilar la carga contaminante hasta valores admitidos por la legislación.

## 2.6.2. Huella hídrica en sistemas de aplicación de purines

Hasta la fecha no existe ningún estudio sobre la huella hídrica de los diferentes sistemas de aplicación de purines.

En el caso de la huella hídrica gris en relación con el nitrógeno existen estudios que incluyen el balance de nitrógeno en el suelo, similar al que hemos aplicado en este estudio (Aldaya et al., 2020; Hoekstra and Mekonnen, 2015).

## 3. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es el de contabilizar el balance de N que se produce en las aplicaciones fertilizantes en agricultura con el empleo de purines, prestando especial atención al sistema de aplicación de estos.

Determinado el balance de N, y detectadas las salidas de N que se producen, se expresará tal carga contaminante de acuerdo con el concepto de huella de carbono para los contaminantes atmosféricos de efecto invernadero (GEI) y de acuerdo con la huella hídrica gris para la contaminación producida por nitratos a las aguas de escorrentía.

Finalmente, se analizará como las diferentes prácticas agrícolas pueden influir en el resultado del balance de N, y en consecuencia poder plantear recomendaciones de buenas prácticas agrarias ligadas al proceso de fertilización agrícola con el empleo de purines pecuarios.

## 4. ÁREA DE ESTUDIO

En el presente trabajo se trata de contabilizar el balance de N de una explotación agrícola cerealista. En este apartado se mostrará la identificación de las parcelas objeto de estudio, sus características agronómicas y ubicación. De igual manera se mostrará información de los cultivos objeto de análisis, así como la climatología local. Cabe resaltar que la gestión de dicha explotación agrícola es llevada a cabo por el mismo autor de este trabajo, como ingeniero agrónomo a lo largo de los últimos 15 años. Es por ello por lo que el acceso a la información y recopilación de datos no ha supuesto un impedimento en cuanto a cuestiones de confidencialidad.

Los datos presentados en el anexo 3 como fichas de explotación agrícola, han sido confeccionados con la información disponible en los cuadernos de campo, albaranes y facturas.

De igual forma, el autor lleva a término la gestión y aplicación de los purines de la explotación ganadera de la que hablaremos con posterioridad, y cuenta para ello con maquinaria adecuada conforme a la nueva normativa a entrar en vigor (Real Decreto de fertilización agraria), cisterna de acero inoxidable de 20 m<sup>3</sup> con doble eje tándem direccional, acelerador y brazo de carga, y sistema de aplicación mediante trituradores y tubos colgantes en ancho de trabajo de 15 m.

#### **4.1. Ubicación, características del terreno y climatología**

La explotación consta de dos zonas claramente diferentes en cuanto a sus características edafológicas y ubicadas en distintos municipios cercanos.

La parcela 665 del polígono 1 del T.M. de Berbinzana (Navarra), de la cual se destina al cultivo de cereales la superficie de 31,92 Ha. Se trata de una terraza fluvial del cuaternario, tipo de tierra arenosa con fondo de capa vegetal para el cultivo variable entre 60 cm y 1 m, y gravas en profundidad. Por las características descritas no presenta problemas de encharcamiento, entendiendo que la capacidad drenante del terreno es de gran magnitud (véase cédulas parcelarias en anexo 2).

La otra zona se encuentra en el T.M. de Larraga (Navarra), en el polígono 13 las parcelas 420, 421 y 455. Con una superficie dedicada a cereales de 19,67 Ha. Se trata de una zona de tierras franco-arcillosas, con difícil capacidad de infiltración, y en consecuencia baja capacidad de drenaje del terreno (véase cédulas parcelarias en anexo 2).

Las dos parcelas cuentan con la implementación de sistemas de riego y pertenecen a la comunidad de regantes del sector IV-1 del Canal de Navarra.

Ambas zonas se encuentran en la zona media de Navarra, con una clasificación climática según Papadakis de Mediterráneo templado, donde nos encontramos una precipitación media anual en torno a 500 mm, y una temperatura media de 13,5 °C con valores mínimos de -11,9 °C y máximos de 42,6 °C, información que se desprende del informe de la estación climática de Olite, el cual se adjunta en anexo 4.

#### **4.2. Cultivos y fertilización nitrogenada**

Los cultivos implantados en la explotación agrícola objeto de estudio son: maíz grano con destino alimentación animal en la parcela explotación de Larraga, y trigo para pienso en la parcela de Berbinzana.

Como se ha mencionado con anterioridad las parcelas cuentan con sistemas de riego y por tanto se entiende que las necesidades hídricas de los cultivos quedan saciadas.

Ambos cultivos son característicos de la zona. A continuación, se describen las características de estos en cuanto a desarrollo y dependencias nutricionales para los potenciales productivos que pudieran darse en tales características edafo-climáticas.

El N corresponde con uno de los principales macronutrientes esenciales de los cultivos y es considerado como factor de crecimiento de estos. Su demanda estará condicionada por el potencial productivo que marque el cultivo y variedad, así como por las condiciones edafoclimáticas en las que se desarrolle. El aporte que debemos sufragar con la fertilización estará condicionado por la demanda mencionada, así como por el estado nutricional en el que se encuentre el suelo.

El objetivo será proporcionar un satisfactorio estado nutricional del cultivo que permita su máximo desarrollo conducente a obtener el tope productivo que nos permita la máxima rentabilidad de la explotación. Para ello deberemos considerar los momentos



de aplicación en función de la demanda de N por el cultivo que está en función de su ciclo de crecimiento vegetativo.

Normalmente, es práctica habitual hacer 2 aportes de fertilización, uno previo a la siembra del cultivo, llamado de fondo, y otro con posterioridad a su nascencia y que está en función del tipo de cultivo y su despunte en el crecimiento de este, y que en cereales suele coincidir con el momento previo al encañado, a este se le denomina fertilización de cobertera.

Se debe prestar especial atención al comportamiento de los cultivos en cuanto a la absorción de N del suelo. Un mayor aporte en N conlleva un mayor crecimiento del cultivo, pero esto sucede hasta alcanzar el tope productivo del mismo, una vez alcanzado el cultivo deja de absorber N y cualquier aporte superior pasará a ser N disponible en el suelo para que pase a ser salida en el balance y dirigirse a formas

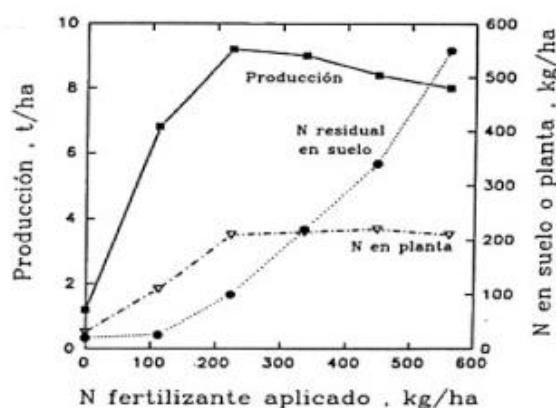


Fig. 15. Rendimiento de cultivo y absorción de N.  
Fuente: Broadbent y Carlton (1978).

contaminantes, bien por su pérdida a la atmósfera en forma de amoníaco o de  $N_2O$  o bien por su disolución en las aguas de escorrentía y contaminación de estas. En el caso que nos ocupa, ninguna de las dos zonas presenta recarga de aguas subterráneas según la base de datos del modelo SIMPA (MITECO, 2019) (véase anexo 5).

Los cultivos cerealistas que estudiamos corresponden su ciclo de absorción del N de acuerdo con la fig. 15. alcanzando sus necesidades nutricionales de N entorno a las 200 UFN/ha. UFN corresponde con las unidades fertilizantes de N aplicadas. Cada tipo de abonado tiene una composición distinta y en consecuencia aporta diferente cantidad de N al suelo, por eso procede utilizar esta expresión.

Las recomendaciones de fertilización para la zona y en cultivos cerealistas de regadío pueden situarse rondando el valor descrito en el párrafo anterior al objeto de obtener el máximo rendimiento productivo.

En nuestra práctica hemos procedido a realizar (en ambos casos) 2 tratamientos fertilizantes. Uno de fondo con el empleo de purín de porcino procedente de una explotación pecuaria de las inmediaciones a la explotación agrícola que el propio autor gestiona.

Una vez el cultivo en fase de crecimiento y desarrollo se procedió a la segunda aportación fertilizante utilizando para ello urea con una riqueza del 46% en N. Esta aportación fertilizante estuvo condicionada por el follaje, a sabiendas que se sobrepasaban las recomendaciones de abonado en N.

Las cantidades, dosis y momentos de aplicación de los fertilizantes se detallan en las fichas de explotación presentadas en el anexo 3, de ellas se extraen los cálculos detallados en el siguiente cuadro resumen de aportes fertilizantes, (véase tabla 4).

Cabe resaltar como observación la práctica de abonado en verde que se llevó a cabo en el cultivo de trigo. En el mes de septiembre, se aplicó la primera dosis fertilizante de fondo con el empleo de purín a una dosis de 168,95 kg N/Ha. Como dista en fecha respecto a la siembra, se fomentó la nascencia de la vegetación adventicia de ricio del cultivo anterior y malas hierbas aplicando varios riegos que incorporasen el purín al suelo y favorecieron tal nascencia (véase fig. 16 a)

Una vez alcanzado un crecimiento y desarrollo de toda esa masa de vegetación, esta fue enterrada coincidiendo con las labores preparatorias de la siembra del cultivo a implantar (trigo). De esta forma se consiguió que el N aportado en fondo se destinara al crecimiento inmediato de toda esa vegetación que posteriormente pasaría a ir descomponiéndose y devolviendo ese aporte de N al trigo de una forma más pautada y a mejorar la estructura del suelo y su nivel de M.O. También se consiguió la eliminación de gran parte de malas hierbas que compitieran con el desarrollo del cultivo objeto de producción (trigo) y por consiguiente una disminución en el empleo de herbicidas.

En el caso del cultivo de trigo se obtuvo como cosecha el grano producido y también se retiró la producción de paja. De ambos se dispone datos de producción que se muestran en las fichas de explotación presentadas como anexo 3.

Para el caso del maíz se retiró el grano como producción y la paja se dejó sobre el terreno mediante el empleo de picador para evitar embozamientos en los aperos de labranza y también para favorecer la descomposición como M.O.

Cabe destacar, en cuanto a los métodos de aplicación de purín empleados, la diferencia entre la aplicación del trigo y del maíz. Si bien en el caso del trigo se efectuó con el sistema de tubos colgantes y tras su aplicación fue incorporado al suelo con el empleo del sistema de riego de forma inmediata. Para el maíz se utilizó el sistema de abanico y su enterrado se realizó pasadas las 24 h mediante labranza del terreno.

Se cuenta con una analítica simple del suelo de las 2 explotaciones (véase anexo 5) que nos permite ver si existe algún tipo de problema ligado a la aplicación continuada de purines en las fincas en las que se viene aplicando durante los últimos 5 años. Analizada la conductividad, esta se encuentra en valores normales al igual que los niveles de  $P_2O_5$  que no son elevados.



Figura 16. Estado del terreno tras 4 semanas de la aplicación de purín.

a) incorporado inmediato mediante riego y fomento de nascencia de vegetación. b) sin incorporar.

Fuente: Santiago De Esteban (2021).

**Tabla 4.** Cuadro resumen de aportes fertilizantes en la explotación agrícola.

## Cálculos del aporte de nutrientes en la fertilización

### Aporte NPK en la aplicación de Purines

Composición analítica del purín:

N total:	<b>2,14</b>	Kg/Tn
Fosforo	0,91	Kg/Tn (P2O5)
Potasio	2,52	Kg/Tn (K2O)

#### Cultivo de Maíz:

Dosis de Purín:	69.395,00	Kg/Ha
Aporte de N:	<b>148,51</b>	<b>Kg N/Ha</b>
Aporte de P:	63,15	Kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /Ha
Aporte de K:	174,88	Kg K <sub>2</sub> O/Ha

#### Cultivo de Trigo:

Dosis de Purín:	78.950,00	Kg/Ha
Aporte de N:	<b>168,95</b>	<b>Kg N/Ha</b>
Aporte de P:	63,15	Kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /Ha
Aporte de K:	198,95	Kg K <sub>2</sub> O /Ha

### Aporte Nitrogenado en la fertilización con Urea

Riqueza de la Urea 46 % N

#### Cultivo de Maíz:

Dosis de Urea:	485,00	Kg/Ha
Aporte de N:	<b>223,10</b>	<b>Kg N/Ha</b>

#### Cultivo de Trigo:

Dosis de Urea:	206,77	Kg/Ha
Aporte de N:	<b>95,11</b>	<b>Kg N/Ha</b>

Observaciones: Datos de origen extraídos de las fichas de explotación presentadas en anexo 3.

## 5-. METODOLOGÍA

### 5.1. Balance de N

En el proceder de este apartado, se debe destacar que el balance de N que se pretende realizar es a nivel de parcela. El MAPA (2016) tiene establecido una metodología de balance de N que analiza la cuestión a nivel sectorial y no contempla las pérdidas que se producen en la aplicación de los purines al campo. Se puntualizan a continuación los condicionantes que van a ser tenidos en cuenta y que difieren de la metodología planteada por el MAPA (2016).

Se ha efectuado un balance en explotación agrícola acorde a las entradas y salidas de N a nivel de parcela. El balance no considera las pérdidas anteriores en los procesos de fabricación del abonado o desde las excretas del purín hasta su aplicación en parcela. El MAPA considera en el 20% las pérdidas de volatilización del preabonado, sería un valor de N que no ha entrado en parcela pero que si ha sido perdido y en consecuencia contribuye a la carga contaminante en el proceso global agrícola-ganadero.

De acuerdo con la bibliografía referida en el apartado 2.3.3. se establece una pérdida por volatilización en un proceso de aplicación estándar con sistema de abanico del 23% en volatilización de  $\text{NH}_3$ , y una disminución de dicha pérdida en función del grado de incorporación del purín. En el caso de las prácticas de incorporación efectuadas en la explotación se ha considerado que para el caso de maíz corresponde con una aplicación en abanico con enterrado a las 24 h suponiendo una disminución de las pérdidas de N por volatilización del 35 %, y para el caso del trigo una aplicación con tubos colgantes con incorporación inmediata mediante el uso del riego una reducción del 70 %, todo ello acorde a los análisis efectuados y reflejado en la tabla 3.

En la aplicación del abonado mineral (urea 46%) se establece una pérdida por volatilización del abonado del 13,75% según la metodología de balance de N en la agricultura española (MAPA, 2016).

Se entiende que el N resultante en positivo en el balance se convierte en pérdidas por volatilización de  $\text{NH}_3$ , emisión de  $\text{N}_2\text{O}$ , o lixiviado de  $\text{NO}_3$ . Podría darse una acumulación o pérdida de N en el suelo como reservorio en función del balance de M.O. y de su estado de descomposición y transformación. Para ello se debiera haber efectuado un control de tales circunstancias, y careciendo del mismo se considera que los procesos de descomposición de M.O. son estables y a ese respecto no queda alterado el balance (restos de cultivo entrante = restos de cultivo saliente).

Se han tomado los datos del aporte fertilizante de las fichas de fertilización que reflejan dosis aportadas en cada explotación, así como momento de la misma. El cálculo de la cantidad de N aportado con la fertilización queda reflejado en la tabla 4.

El cálculo del N extraído por la cosecha se ha efectuado según MAPA (2016), corrigiendo la humedad a materia seca (M.S.) (tabla valores N, MAPA, 2016). Para el caso del trigo han sido considerados tanto la producción de grano como la retirada de la paja efectuada. En la explotación de maíz solo se considera como extracción el grano cosechado ya que el resto de cultivo fue incorporado al suelo.

Los gases de los suelos incluyen porcentajes del N incorporado en el abonado orgánico (estiércoles y otros orgánicos) y en la fertilización mineral nitrogenada, y también el N presente en los residuos de cultivos incorporados en el suelo, así como emisiones indirectas en la parte de lixiviado y en los procesos de deposición atmosférica, todo ello según MAPA (2016).

## 5.2. Huella de carbono

Se ha utilizado la calculadora de huella de carbono que ofrece MITECO para determinar las emisiones directas de CO<sub>2</sub> y las de conversión de otros gases como el N<sub>2</sub>O a CO<sub>2</sub> eq.

El estudio se ha realizado siguiendo la recomendación de la guía MITECO (2016).

Cabe resaltar que se ha procedido a realizar el análisis con los datos en parcela referidos a la fertilización tanto mineral como orgánica, al objeto de tener un valor acorde exclusivamente a la fertilización.

Por tanto, el estudio no contempla el resto de las emisiones como pudieran ser las de las labores agrícolas, emisiones por consumo de combustibles, gastos energéticos de la explotación etc.

La determinación de la huella de carbono atiende a la siguiente fórmula:

$$\text{Huella de Carbono} = \text{Dato actividad} \times \text{Factor de emisión}$$

Los valores correspondientes a los factores de emisión de cada actividad generadora de GEI fueron extraídos del IPCC (2019) según la calculadora del MITECO (2016).

Los datos de actividad trabajados por la calculadora de emisiones (MITECO, 2016) son también presentados en el anexo 6, y se muestran los resultados tal como el programa los presenta.

Se descomponen en:

Emisiones directas de N<sub>2</sub>O. Dentro de lo cual tenemos:

las emisiones por la urea aplicada en fertilización de cobertera.

Emisiones por la aplicación de purín.

Emisiones por los retos de cultivo.

Emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O correspondientes a:

Lixiviación y esorrentía.

Deposición atmosférica.

Emisiones directas de CO<sub>2</sub> por la descomposición de la urea.

El resto de los apartados como las emisiones por otros fertilizantes, por quema de restos de cultivo o aplicación de enmiendas se entienden que no proceden en este estudio por no darse el caso.

La calculadora de emisiones puede descargarse desde la página del MITECO (2016).

A nivel internacional existe diferente normativa referida al cálculo de las emisiones de GEI (IPCC, 2019; GHG Protocol, 2005; ISO-14064).

### 5.3. Huella Hídrica gris

No existen estudios sobre la determinación de la huella hídrica gris (GWF, por sus siglas en inglés) en aplicaciones de purín en agricultura, y para ello nos hemos amparado en el manual de evaluación de la huella hídrica (Hoekstra et al., 2011) y el estudio sobre la huella hídrica gris como indicador de contaminación difusa por nitrógeno para el caso de Navarra (Aldaya et al., 2020). También ha sido de aportación Hoekstra and Mekonnen (2015), aunque este no diferencia entre aguas superficiales y subterráneas.

Estas referencias citadas nos han permitido establecer la base de cálculo e interpretación del caso real de fertilización nitrogenada con el empleo de purines acorde a la perspectiva internacional del concepto GWF.

El indicador de GWF se mide como el volumen de agua necesario para asimilar la carga de contaminantes sobre la concentración natural y las normas ambientales existentes (Hoekstra et al., 2011).

Este parámetro se determina dividiendo la carga de N (Kg/año) por la diferencia entre la norma ambiental de calidad del agua ( $C_{max}$ , mg/l) y la concentración natural de fondo del agua a la que se vierte la carga contaminante ( $C_{nat}$ , mg/l).

Así pues:

$$GWF = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}} \left[ \text{Volumen} / \text{Tiempo} \right]$$

La concentración natural de fondo corresponde con la del agua en un estado en el que no existen alteraciones antropogénicas. De acuerdo con el Real Decreto 817/2015 (BOE, 2015) tomamos el valor de 10 mg NO<sub>3</sub>/l como límite de cambio de estado de bueno a muy bueno.

Respecto al valor de la norma ambiental de calidad del agua, cabe distinguir entre la concentración en aguas superficiales y subterráneas. Según lo contemplado en la Directiva Europea de Nitratos (CE, 1991) utilizamos el valor de 50 mg NO<sub>3</sub>/l para las aguas subterráneas, y de acuerdo con el Real Decreto 817/2015 (BOE, 2015) se considera una concentración máxima admisible de 25 mg NO<sub>3</sub>/l como límite de cambio de estado de bueno a moderado para las aguas superficiales.

El modelo SIMPA (2019) evalúa los recursos hídricos en régimen natural, y resulta esencial para conocer con detalle los recursos disponibles y gestionarlos de forma sostenible y eficiente. De él se han extraído los mapas de escorrentía superficial y subterránea (véase anexo 7) con los que poder determinar los recursos hídricos disponibles en las explotaciones agrícolas objeto de estudio.

De los mismos se desprende que tanto en la explotación de maíz como de trigo, no existe recarga de los acuíferos (aporte a aguas subterráneas) y en consecuencia toda la carga de N será asimilada por las aguas superficiales como así se verá en la tabla 7.

Respecto a las aguas superficiales, según los mapas de escorrentía superficial obtenidos del modelo SIMPA (2019), se toma el valor de 12,5 mm tras interpolar el rango de valores mostrado (de 0 a 25 mm).

Existe otro parámetro que mide el grado de contaminación dentro de una cuenca llamado nivel de contaminación del agua (WPL, por sus siglas en inglés) y se estima como la relación entre la GWF y la escorrentía real de la cuenca (Hoekstra et al., 2011).

Tenemos que:

$$WPL = \frac{GWF}{Escorrentía\ de\ la\ cuenca}$$

Es un coeficiente que deberá tomar valores inferiores a 1 para que la carga contaminante no afecte a los niveles exigidos legalmente (vistos con anterioridad). Si  $WPL > 1$ , nos indica que se hubieran superado los límites de capacidad de asimilación ambiental, y se produciría una vulneración de las normas ambientales de calidad del agua. El parámetro también podemos expresarlo porcentualmente.

Para el dato de escorrentía, en nuestro caso tomamos el valor del caudal del río Arga aguas abajo (Funes) obtenido de la red de estaciones de aforo de la confederación Hidrográfica del Ebro (CHE, 2020), por ser el punto al que van a ser dirigidas las aguas de captación referidas.

Se analizarán también los datos de las memorias de calidad del agua del Gobierno de Navarra en las estaciones más cercanas para ver si hubiera problemas en las mismas.



## 6. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Balance de N

De acuerdo con la metodología planteada en el apartado 5.1, obtenemos los resultados que se expresan en la tabla 5, donde se reflejan tanto por explotación como por unidad de superficie a efectos de establecer comparaciones.

Se aprecia una clara diferencia en los datos de una y otra explotación en cuanto a las salidas de N vía volatilización de  $\text{NH}_3$  como en la lixiviación por escorrentía, y no tanto así en los gases de los suelos según MITECO (2016).

**Tabla 5.** Balance de Nitrógeno en la explotación agrícola cerealista de trigo y maíz. Datos en Kg N.

Concepto	Maíz		Trigo	
Superficies (Ha)	19,67	1,00	31,92	1,00
	<b>Kg N/ Explotación</b>	<b>Kg N/Ha</b>	<b>Kg N/ Explotación</b>	<b>Kg N/Ha</b>
Fertilización mineral urea 46%	4.388,38	223,10	3.035,91	95,11
Abonado purín porcino	2.921,19	148,51	5.392,88	168,95
Semillas	9,79	0,50	130,18	4,08
Deposición atmosférica	320,43	16,29	519,99	16,29
<b>TOTAL ENTRADAS</b>	<b>7.639,79</b>	<b>388,40</b>	<b>9.078,96</b>	<b>284,43</b>
Retirada de cosechas	4237,68	215,44	6952,16	217,80
Residuos de cultivos				
<b>TOTALSALIDAS</b>	<b>4.237,68</b>	<b>215,44</b>	<b>6.952,16</b>	<b>217,80</b>
<b>BALANCE EN PARCELA</b>	<b>3.402,11</b>	<b>172,96</b>	<b>2.126,80</b>	<b>66,63</b>
% Sobre fertilización	47%	47%	25%	25%
<b>Gases de los suelos (MITECO)</b>	<b>189,81</b>	<b>9,65</b>	<b>258,55</b>	<b>8,10</b>
<b>Volatilización <math>\text{NH}_3</math> (bibliografía)</b>	<b>1.038,36</b>	<b>52,79</b>	<b>788,33</b>	<b>24,70</b>
<b>Escorrentía/lixiviación (SIMPA)</b>	<b>2.173,93</b>	<b>110,52</b>	<b>1.079,92</b>	<b>33,83</b>

Los “gases emitidos por el suelo” han sido determinados según la metodología establecida en el balance de N por MITECO a la que nos referimos.

La determinación de lixiviados por escorrentía se hace por diferencia, entendiendo que en el balance de N, tras las pérdidas por volatilización, la emisión de  $\text{N}_2\text{O}$  y la extracción por el cultivo, lo que resulta corresponde con lavado. Esta consideración supone que no hay retención de N en el suelo, realmente habría que disponer de análisis mas complejos sobre el suelo y su contenido y evolución de la M.O. y de la relación C/N.

El valor de lixiviado será el que se utilizará posteriormente en el apartado de GWF como carga de N contaminante, a las aguas de escorrentía determinadas por el modelo SIMPA.

Analizando tales resultados se puede ver que en la explotación de maíz se produce una mayor pérdida contaminante de N y que a su vez coincide con una menor productividad porcentual respecto al tope productivo del cultivo para las condiciones del lugar (véase apartado 4.2.). Ello nos indica que el cultivo no ha absorbido todo el nitrógeno disponible y que este ha contribuido a la parte de pérdidas. Además, fue precisa una fertilización mineral de cobertura mayor para poder hacer frente a las necesidades que en ese momento marcaba el cultivo.



El caso del trigo resulta muy diferente al del maíz. Se producen menores salidas de N tanto en volatilización como en lixiviación y el aporte de cobertera fue menor por lo que procede analizar las prácticas agrícolas llevadas a cabo y explicadas en el apartado 4.2.

Como hecho diferencial en las prácticas agrícolas ligadas a la fertilización nitrogenada nos encontramos que en el caso del trigo se procedió con la práctica de abonado en verde tras la aplicación del purín y que éste fue incorporado de inmediato utilizando el sistema de riego.

En el caso del maíz, el purín estuvo en superficie más de 24 horas tras su aplicación y el cultivo se implantó 21 días posterior al aporte de purín. Además, la nascencia se produciría 15 días posteriormente, y la fuerte demanda del cultivo en crecimiento todavía 1 mes más tarde.

Procede interpretar, en este apartado, que las prácticas agrarias de fertilización condicionan la disponibilidad de N en el momento de necesidades del cultivo y que por tanto no se trata de aportar dosis elevadas de N para satisfacer las necesidades si no más bien hacerlo de la forma correcta en el momento oportuno.

El caso de la explotación de trigo puede servirnos de ejemplo de una correcta utilización del N por el cultivo y una disminución de la carga contaminante por pérdidas de N consecuencia del empleo de buenas prácticas agrarias.

El incorporado del purín (véase fig. 17) inmediatamente tras su aplicación es de vital importancia para reducir las pérdidas por volatilización de N, y la práctica de abonado en verde permite una retención de N en el suelo en formas menos disponibles para ser lixiviado por las aguas de escorrentía.



Figura 17. Incorporación de purín mediante vibro-cultor.  
Fuente: Santiago De Esteban (2021)

La diferencia en cuanto a los distintos métodos de aplicación empleados en ambas explotaciones ha contribuido de forma importante a las diferencias en los resultados del balance de N, incrementándose las pérdidas por volatilización de  $\text{NH}_3$  para el caso de la explotación de maíz.

En el caso del maíz, la necesidad del empleo de una dosis de cobertera de urea fue motivada por la pérdida de N aportado en fondo. De toda la urea aportada en el momento de estado “rodillero” del cultivo, se supone que parte ha ido también a pérdidas de N, por lo que se aumenta la carga contaminante ligada al proceso de fertilización.

## 6.2. Huella de carbono

A continuación, se muestra en tabla 6 un resumen comparativo de las emisiones de CO<sub>2</sub>eq calculadas mediante la herramienta que presta el MITECO (2016) y que se muestran al detalle en el anexo 6.

**Tabla 6.** Emisiones de GEI en explotación agrícola cerealista de trigo y maíz ligadas a la fertilización nitrogenada. Datos en Kg de CO<sub>2</sub> eq.

Emisiones de GEI	Maíz		Trigo	
	Por explotación	Por Ha	Por explotación	Por Ha
Fertilizantes sintéticos	20.550,25	1.044,75	14.217,15	445,40
Emisiones de la urea	6.996,00	355,67	4.840,00	151,63
Estiércoles aplicados al campo	38.352,60	1.949,80	70.804,80	2.218,20
Residuos de cultivos	5.854,92	297,66	1.092,19	34,22
Emisiones indirectas de N <sub>2</sub> O	24.296,04	1.235,18	34.958,36	1.095,19
<b>TOTAL EMISIONES</b>	<b>96.049,81</b>	<b>4.883,06</b>	125.912,50	3.944,63

Como dato llamativo en la comparación de los resultados, se percibe una diferencia importante (24%) de emisiones de CO<sub>2</sub> para el caso del total de la explotación de maíz comparada con la explotación de trigo.

Tales diferencias fundamentales radican en las emisiones por la urea empleada como abonado de cobertera. Si se analizan las dosis empleadas de este fertilizante (reflejadas en la ficha de cultivo en anexo 3) se ve como en el caso de la explotación de maíz se emplearon dosis importantes de 485 Kg/ha. Esto fue debido a que el cultivo lo requería en aquel momento (máxima demanda en estado “rodillero”) y por tanto podemos establecer que el N aportado en el abonado de fondo no había sido optimizado por el cultivo, coherente también por la diferencia en pérdidas expresada en el balance de N comentado en el apartado 6.1.

Igualmente, la diferencia en las emisiones indirectas puede radicar en las emisiones de N<sub>2</sub>O en los lixiviados ya que como también se comentó en el apartado 6.1. estas fueron mayores en el cultivo de maíz debido a las pérdidas de N por lavado de NO<sub>3</sub>.

La diferencia en cuanto a las emisiones por los residuos del cultivo son lógicas puesto que, como se explicó en el apartado 4.2. en el caso del trigo se retiró la paja del cultivo como producción y en el caso del maíz no es práctica habitual y se incorporó al suelo.

Por tanto, a este respecto podemos establecer que el buen manejo de la fertilización hubiera evitado las dosis de urea empleadas en el abonado de cobertera y en consecuencia pudieran haberse disminuido las emisiones de CO<sub>2</sub> directas a la atmósfera que produce el proceso de descomposición de la urea.

### 6.3. Huella hídrica gris

En la Tabla 7 se muestra el resumen de cálculo de GWF y WPL de acuerdo con la metodología desarrollada en el apartado 5.3.

**Tabla 7.** Huella hídrica gris (GWF) y nivel de contaminación del agua (WPL) en explotación agrícola cerealista de trigo y maíz ligadas a la fertilización nitrogenada.

Cultivo	TRIGO	MAIZ
Balance N (Tn/año)	1,08	2,17
Área (m <sup>2</sup> )	319.200	196.700
Escorrentía superficial (mm)	12,50	12,50
Recarga (mm)	0,00	0,00
Carga N al agua superficial (Tn/año)	1,08	2,17
Carga N a acuíferos (Tn N/año)	0,00	0,00
Escorrentía río Arga aguas arriba (Hm <sup>3</sup> /año)	1.495,00	1.495,00
GWF agua subterránea (m <sup>3</sup> /año)	0,00	0,00
<b>TOTAL GWF agua superficial (m<sup>3</sup>/año)</b>	<b>318.701</b>	<b>641.561</b>
<b>TOTAL GWF superf. y subter. (m<sup>3</sup>/año/Ha)</b>	<b>9.984</b>	<b>32.616</b>
<b>WPL</b>	0,00021	0,00043

Cabe destacar que todo el componente de WPL corresponde con las aguas superficiales puesto que de acuerdo con los mapas de escorrentía subterránea obtenidos del modelo SIMPA (MITECO, 2019) no existe recarga de acuíferos en las zonas donde se ubican las explotaciones de maíz y trigo objeto de estudio.

Al objeto de poder establecer comparaciones lógicas con otros indicadores de consumo de recursos hídricos como pueda ser el consumo de riego, se ha representado el valor de GWF por hectárea.

Comparando entre las dos explotaciones, se ve como en el caso de la explotación de maíz, se produce una GWF por hectárea muy superior a la de la explotación de trigo. Esto corresponde con lo expresado en el análisis del balance de N en la explotación. Debido a la mayor pérdida de N ligada a las diferentes prácticas agrarias realizadas en la explotación de maíz es necesario mayor cantidad de agua para asimilar tal carga contaminante.

Por otro lado, comparando el valor de GWF obtenido con las necesidades hídricas del cultivo de maíz, que para el caso de estudio pudieran rondar los  $8.000 \text{ m}^3/\text{Ha/año}$ , cabe resaltar la importancia de tal magnitud ( $32.616 \text{ m}^3/\text{Ha/año}$ ).

Para el caso del trigo el valor de la GWF de  $9.984 \text{ m}^3$  aunque mayor que las necesidades hídricas del cultivo que pudieran rondar los  $4.000 \text{ m}^3$  no resulta tan dispar, pero también debiera servir de reflexión de cara al análisis de los recursos hídricos consumidos.

Referido al índice de WPL, su valor está muy por debajo de 1, lo que indica que no se han superado los límites de capacidad de asimilación ambiental, ni vulnerado las normas ambientales de calidad del agua. Pero hay que tener en cuenta que se ha considerado el caudal del río Arga al que se vierten las aguas superficiales de la zona de las explotaciones y que, aunque en el mismo no existen problemas de calidad de las aguas, estamos considerando una superficie de explotación de  $31,92 \text{ Ha}$  y  $19,85 \text{ Ha}$  y que al mismo río vierten también las aguas superficiales de toda una región mucho más extensa.

Por otro lado, se considera la carga de N diluida en el caudal del río Arga el cual dista aproximadamente a  $1 \text{ km}$  de la ubicación de las parcelas. Pese al bajo valor de WPL, pudiera darse el caso de que la carga de N lixiviada diera lugar a algún tipo de problema en el transcurso de la explotación agrícola al río Arga. En zonas de remanso donde el agua pueda quedar estancada, podría presentarse algún problema de acumulación de nitratos, y ligado a ello Eutrofización de las aguas (véase fig. 18)



Figura 18. Balsa de agua retenida en Berbinzana (Navarra).  
Fuente: Santiago De Esteban (2021)

Comparado WPL entre ambas explotaciones, resulta igualmente llamativo que se duplica para el caso de la explotación del maíz consecuencia del mismo análisis efectuado para el caso de GWF.

## 7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Son varias las cuestiones que se han analizado en este trabajo de fin de Máster, y de todas ellas se pueden establecer claras conclusiones.

Por un lado, parece evidente que tras la aplicación de los purines al suelo agrícola es necesaria su incorporación al suelo al objeto de disminuir las pérdidas por volatilización de  $\text{NH}_3$ , pues la misma está directamente relacionada con el tiempo de exposición a la atmósfera al que se exponga el purín. Si bien existen métodos de aplicación que evitan que el purín sea sometido a exposición atmosférica, con los métodos tradicionales de aplicación de purines, sea abanico o plato, pueden llevarse a cabo prácticas agronómicas que consigan el mismo efecto enterrando el purín en el suelo de inmediato tras su aplicación por medios mecánicos, o bien diluirlo en el agua de riego para su infiltración. En definitiva, se trata de la incorporación del purín al suelo lo más efectivo posible tras su aplicación. De esta forma se consigue disminuir las salidas de N en el balance en forma de  $\text{NH}_3$  a la atmósfera

En la parte de “salidas” del balance de N, también nos encontramos con las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  que suponen una contribución importante a los GEI. A este respecto la contribución del manejo del cultivo en cuanto a necesidades nutricionales de N y momentos de aplicación es vital para conseguir evitar un exceso de emisiones innecesario. Un elevado contenido de N en el suelo propiciará los fenómenos de nitrificación y desnitrificación de los cuales se desprende  $\text{N}_2\text{O}$ . El estudio de las necesidades nutricionales del cultivo, y su aporte teniendo en cuenta en cubrir dichas necesidades en función de su demanda será crucial.

De igual manera, el exceso de N en el suelo propiciará que este pase a formas solubles para la absorción del cultivo como es el  $\text{NO}_3$ , pero que igualmente serán formas solubles en agua y que pueden contribuir a lixiviados y en consecuencia contaminación de acuíferos por nitratos y consiguientes problemas de eutrofización. Cobra nuevamente especial interés el control de las necesidades nutricionales del cultivo y tener especial atención en los momentos de exceso de lluvias que puedan lixiviar los nitratos a aguas de escorrentía.

De todo ello, se puede concluir que el manejo de un código de buenas prácticas agrarias es esencial para disminuir los potenciales riesgos de contaminación que por pérdidas de N puedan producirse tras la aplicación de fertilizantes nitrogenados y especialmente las aplicaciones con purín de porcino que pueden suponer una problemática en la gestión de estiércoles en el sector. Además de las prácticas agrarias ligadas a la fertilización, cobra importancia el establecer rotaciones de cultivos que nos permitan aplicar purines al campo con un reparto temporal a lo largo del año, para evitar también problemas en la gestión del purín en las explotaciones porcinas.

Como se ha visto en el análisis de resultados del capítulo 6, resulta sorprendente como en la explotación de maíz, pese a tener un mayor aporte por hectárea en la fertilización nitrogenada, tanto orgánica como mineral, el rendimiento del cultivo ha quedado

entorno al 70% del tope productivo esperado y al mismo tiempo las pérdidas de N se han duplicado.

Del balance de N para la explotación de maíz entendemos que gran parte del N ha sido perdido en lixiviación en forma de  $\text{NO}_3$  por estar este en abundancia disponible para el cultivo en un momento en el que el estado de desarrollo del mismo no lo demandaba. Por ser esta forma de N muy soluble en agua, esta diluyó el N y lo dispersó a través de la escorrentía. Analizando el WPL se aprecia claramente el diferencial en este indicador para ambas explotaciones.

Si bien es cierto que el caudal del río Arga es suficiente para diluir/asimilar la contaminación proveniente de la pérdida de N en las aguas de escorrentía, así como que la calidad del agua no presenta problemas en ninguna de las estaciones de control cercanas, es importante tener en cuenta la cantidad de agua necesaria para tal dilución. En el caso de la explotación de maíz triplica a la del trigo. Y si comparamos con las necesidades hídricas del cultivo que para el maíz ya son de importancia (aprox. 8.000  $\text{m}^3/\text{ha}$ ) frente a los 32.000  $\text{m}^3/\text{año}/\text{ha}$  marcados en GWF nos permiten tomar conciencia de la mayor dependencia de un recurso hídrico en la explotación agrícola en función del manejo de cultivo experimentado. Como referencia a la pluviometría de la zona, decir que estaríamos ante un valor de 5.000  $\text{m}^3/\text{ha}/\text{año}$ .

La cuantificación y valoración de los recursos hídricos debiera estar correctamente efectuada teniendo en cuenta el factor de GWF.

Por último y referido a la huella de carbono, el hecho de haber tenido mayor cantidad de N disponible en el suelo a disposición del cultivo y que no ha sido utilizado, ha propiciado que se genere mayor cantidad de  $\text{N}_2\text{O}$  en los procesos del suelo. Tal liberación de  $\text{N}_2\text{O}$ , aunque no suponga de relevancia en la comparación entre las dos explotaciones, sí que toma mayor diferencia cuando se traduce a  $\text{CO}_2_{\text{eq}}$  puesto que la capacidad de calentamiento de este gas es muy superior.

Como conclusión de todo lo analizado, es necesario una información y concienciación en el sector agrícola ligada a las prácticas de fertilización en cuanto al empleo de buenas prácticas agrarias. La oposición que parte del sector ha hecho en los últimos tiempos a la entrada en vigor de normativa regulatoria ha frenado el alcanzar los compromisos adquiridos en materia de reducción de emisiones en la UE. Las administraciones públicas deberán atender las demandas del sector para que tal regulación sea puesta en marcha de una forma inmediata sin perjudicar los intereses de los agricultores y ganaderos como condicionante sociopolítico, pero lo que, sin duda alguna, se entiende necesario poner en marcha un marco regulatorio que exija medidas urgentes y un sector concienciado con el tema. La entrada en vigor del próximo Real Decreto de fertilización agraria podrá ser un elemento útil si consigue ser de aceptación por el sector y finalmente pueda ser implementado.



## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGMA ARAGÓN, 2017. "Informe científico-técnico sobre el estado del arte en sistemas de gestión de estiércoles, tecnologías y reducción de emisiones". Centro de investigación y tecnología agroalimentaria de Aragón. Gobierno de Aragón, España. Available at: [https://www.aragon.es/documents/20127/674325/AGMA\\_INFORME\\_SIST.GEST.ESTIERCOLES2017.PDF/d4adc1a2-82a6-f767-0803-313cb5231dda](https://www.aragon.es/documents/20127/674325/AGMA_INFORME_SIST.GEST.ESTIERCOLES2017.PDF/d4adc1a2-82a6-f767-0803-313cb5231dda)
- Aldaya M., Rodriguez C., Fernandez A., Merchan D., Beriain MJ., Llamas R., 2020. "Grey Water Footprint as an Indicator for Diffuse Nitrogen Pollution: The Case of Navarra, Spain". Science of the Total Environment 698: 134338. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134338>.
- Andreu J., Betrán J., Delgado I., Espada JL., Gil M., Gutiérrez M., Iguácel F., Isla R., Muñoz F., Orús F., Pérez M., Quílez D., Sin E., Yagüe MR., 2006. "Fertilización nitrogenada, guía de actualización" Informaciones técnicas, Dirección general de desarrollo Rural Gobierno de Aragón. Nº extraordinario. Available at: [https://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/868/1/10532-105\\_11.pdf](https://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/868/1/10532-105_11.pdf)
- BOE, 1996. "Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias". Ministerio de la Presidencia «BOE» núm. 61, de 11 de marzo de 1996 Referencia: BOE-A-1996-5618 Available at <https://www.boe.es/buscar/pdf/1996/BOE-A-1996-5618-consolidado.pdf>
- BOE, 2015. "Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental". «BOE» núm. 219, de 12 de septiembre de 2015, páginas 80582 a 80677 (96 págs.). Available at: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2015/09/11/817>
- BOE, 2018. "Real Decreto 1378/2018, de 8 de noviembre, por el que se modifican los Reales Decretos 1075/2014, 1076/2014 y 1078/2014, todos ellos de 19 de diciembre, dictados para la aplicación en España de la Política Agrícola Común". Available at: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2018/11/08/1378>
- Broadbent y Carlton, 1978. "Gráfico de absorción Nitrógeno y rendimiento cultivos" ". Informe técnico sobre contaminación del suelo en la web, tema 14, contaminación por fertilizantes. Available at: <http://www.edafologia.net/conta/tema14/nitrog.htm>
- COGAP, 2018. "Code of Good Agricultural Practice (COGAP) for Reducing Ammonia Emissions". Department for Environment, Food and Rural Affairs, UK Government. Available at: <http://www.nationalarchives.gov.uk/doc/open-government-licence/version/3/>
- CE, 1991. "Directiva 91/676/CEE del Consejo, de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura". Available at: <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>
- CHE, 2020. "Sistema automático de información hidrológica". Confederación Hidrográfica del Ebro. Datos a la carta, informes, aforos. Available at: <http://www.saihebro.com/saihebro/index.php?url=/principal>
- Curtis JD., Meisinger JJ., Douglas BB., 2011. "Subsurface Application of Manures Slurries for Conservation Tillage and Pasture Soils and Their Impact on the Nitrogen Balance.". Journal of environmental quality, 40(2), 352-361. Available at: <https://pubag.nal.usda.gov/download/53699/PDF>
- Dauden A., Quílez D., Yague, R., 2003. "Métodos de aplicación del purín al suelo" Unidad de suelos y riego, Centro de investigación y tecnología agroalimentaria de Aragón, Gobierno de Aragón. citarea.cita-aragon.es. Available at: [https://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/974/1/10532-104\\_18.pdf](https://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/974/1/10532-104_18.pdf)
- EC, 2021 a. "Marco sobre el clima y energía para 2030" Web oficial de la Unión Europea. Available at: [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030\\_es](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_es)
- EC, 2021 b. "De la granja a la mesa" Web oficial de la Unión Europea. Available at: [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/actions-being-taken-eu/farm-fork\\_es](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/actions-being-taken-eu/farm-fork_es)

- EU, 2010. "Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo del 24 de noviembre de 2010 sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación)". Diario Oficial de la Unión Europea. L 334(17), 103. Available at: <https://www.boe.es/doue/2010/334/L00017-00119.pdf>
- EU, 2016. "Directiva (UE) 2016/ 2284 Del Parlamento Europeo y Del Consejo- de 14 de Diciembre de 2016 - Relativa a La Reducción de Las Emisiones Nacionales de Determinados Contaminantes Atmosféricos, Por La Que Se Modifica La Directiva 2." Diario oficial de la Unión Europea, 17 de diciembre de 2016 2016(344): 1–30. Available at: <https://www.boe.es/doue/2016/344/L00001-00031.pdf>.
- FAO, 2018. "Sé la solución a la contaminación del suelo". Simposio mundial sobre contaminación del suelo. Documento final. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma 02-04 mayo 2018. Available at: <http://www.fao.org/3/ca0362es/ca0362es.pdf>
- GESFER, 2010. "Importancia de conocer el contenido de nutrientes del purín porcino para una correcta fertilización: caracterización y medida rápida". Gestión de la fertilización orgánica y mineral (GESFER). Consorcio empresarial. Cataluña. Available at: [https://www.3tres3.com/articulos/conocer-los-nutrientes-del-purin-para-la-correcta-fertilizacion\\_2978/](https://www.3tres3.com/articulos/conocer-los-nutrientes-del-purin-para-la-correcta-fertilizacion_2978/)
- GHG Protocol, 2005. "Green house gas protocol". We set the standards to measure and manage emissions. a) Companies and organizations, b) Countries and cities. Available at: <http://www.ghgprotocol.org/>
- Hansen, MN., Sommer, SG., & Madsen, NP., 2003. "Reduction of ammonia emission by shallow slurry injection: Injection efficiency and additional energy demand". Journal of Environmental Quality (J Environ Qual), 32(3), 1099–1104. Available at: <https://doi.org/10.2134/jeq2003.1099>
- Hoekstra AY., Chapagain AK, Aldaya MM., Mekonnen MM., 2011. "The Water Footprint Assessment Manual". available at: [https://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual\\_2.pdf](https://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf)
- Hoekstra AY., and Mekonnen MM., 2015. "Global Gray Water Footprint and Water Pollution Levels Related to Anthropogenic Nitrogen Loads to Fresh Water." Environmental Science and Technology 49(21): 12860–68. Available at: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.5b03191>
- Iguáces F., Yagüe MR., Orús F., Quílez D., 2007. "Evaluación de costes de sistemas y equipos de aplicación de purín" Centro de Investigación y tecnología y Universidad, Gobierno de Aragón. Informaciones técnicas 178. Available at: <https://ruralcat.gencat.cat/documents/20181/126243/Evaluacion%20de%20costes%20de%20sistemas%20y%20equipos%20de%20aplicacion%20de%20purines.pdf>
- IPCC, 2019. "IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme". Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (eds). Publicado por: IGES, Japón. Available at: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>
- ISO, 14046. "UNE-EN ISO 14064-1:2019. Gases de efecto invernadero". Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero. (ISO 14064-1:2018). Available at: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0062629>
- Macmillan, 1984. "Gráfico del ciclo del Nitrógeno". Informe técnico sobre contaminación del suelo en la web, tema 14, contaminación por fertilizantes. Available at: <http://www.edafologia.net/conta/tema14/nitrog.htm>
- MAPA, 2016. "Balance de N en la agricultura Española" Metodología y resultados. Available at: [https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/medios-de-produccion/bn2016\\_metodologia-resultados\\_tcm30-507806.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/medios-de-produccion/bn2016_metodologia-resultados_tcm30-507806.pdf)
- MAPA, 2020. "El sector de la carne en cifras, Principales indicadores económicos". Subdirección general de producciones ganaderas y cinegéticas. Available at: [https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/estadisticas/indicadoreseconomicoscarnedecerdo2019\\_tcm30-379728.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/estadisticas/indicadoreseconomicoscarnedecerdo2019_tcm30-379728.pdf)



- Martinez-Lagos J., Salazar F., Alfaro M., Misselbrook T., 2013. "Ammonia volatilization following dairy slurry application to a permanent grassland on a volcanic soil". *Atmospheric Environment* 80 223-231. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231013006146>
- Misselbrook TH., Smith KA., Johnson RA., Pain BF., 2002. "Slurry Application Techniques to Reduce Ammonia Emissions: Results of Some UK Field-Scale Experiments." 81: 313–21. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511001900170>
- MITECO, 2019. "Modelo SIMPA, Evaluación de los recursos hídricos en régimen natural". Available at: <https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/agua/simpa.aspx>
- MITECO, 2016. "Guías y calculadora de emisiones de GEI". Available at: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/calculadoras.aspx>  
[https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia\\_huella\\_carbono\\_tcm30-479093.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm30-479093.pdf)  
<https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/ganaderia-y-medio-ambiente/calculo-emisiones/default.aspx>
- Ovejero J., Cantero-Matinez C., Lampurlanés J., Alvaro-Fuentes J., 2014. "La volatilización de amoníaco bajo diferentes tipos de manejo de suelo y fertilizantes nitrogenados en el valle del Ebro" *Canales sectoriales interempresas*. Available at: <https://www.interempresas.net/Agricola/Articulos/119950-volatilizacion-amoniaco-bajo-diferentes-tipos-manejo-suelo-fertilizantes-nitrogenados.html>
- Parera J., 2010. "Importancia de conocer el contenido de nutrientes del purín porcino para una correcta fertilización: caracterización y medida rápida". Publicado en la web, 3tres3.com, Comunidad profesional porcina, artículos del porcino, 1 jul 2010. Available at: [https://www.3tres3.com/articulos/conocer-los-nutrientes-del-purin-para-la-correcta-fertilizacion\\_2978/#:~:text=Importancia%20de%20conocer%20el%20contenido,fertilizaci%C3%B3n%3A%20caracterizaci%C3%B3n%20y%20medida%20r%C3%A1pida&text=Los%20purines%20contienen%20importantes%20nutrientes,y%20rendimiento%20de%20los%20cultivos.](https://www.3tres3.com/articulos/conocer-los-nutrientes-del-purin-para-la-correcta-fertilizacion_2978/#:~:text=Importancia%20de%20conocer%20el%20contenido,fertilizaci%C3%B3n%3A%20caracterizaci%C3%B3n%20y%20medida%20r%C3%A1pida&text=Los%20purines%20contienen%20importantes%20nutrientes,y%20rendimiento%20de%20los%20cultivos.)
- Red de estaciones meteorológicas del Gobierno de Navarra, 2020. Available at: [http://meteo.navarra.es/climatologia/fichasclimaticas\\_estacion.cfm?IDestacion=186](http://meteo.navarra.es/climatologia/fichasclimaticas_estacion.cfm?IDestacion=186)
- Reitz P., Gallmann E., Kutzbach HD., 1999. "Measurement of ammonia emissions after slurry application to grassland: influence of application techniques." *International agrophysics*, 13(1), P 149-155. Available at: [https://scholar.google.es/scholar?q=Measurement+of+ammonia+emissions+after+slurry+application+to+grassland:+influence+of+application+techniques&hl=es&as\\_sdt=0&as\\_vis=1&oi=scholar](https://scholar.google.es/scholar?q=Measurement+of+ammonia+emissions+after+slurry+application+to+grassland:+influence+of+application+techniques&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar)
- SODEMASA, 2011. "Proyecto demostrativo de gestión colectiva del purín en Aragón" proyecto de demostración llevado a cabo en Aragón (España), (LIFE06 ENV/E/000044-ES-WAMAR). Impreso en: Talleres Editoriales Cometa, S.A. © 2011, SODEMASA. Depósito Legal: Z-3846-11. Available at: [https://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=ESWAMAR\\_Gestion\\_Purin.pdf](https://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=ESWAMAR_Gestion_Purin.pdf)
- Smith DW., Mukhtar S., Stowell RR., 2015. "Advanced Application Techniques Making the Most of Your Manure Responsibly". The Texas A&M University System. Departments of Biological Systems Engineering and Animal Science, University of Nebraska–Lincoln, Available at: <https://www.agrilifebookstore.org/Making-the-Most-of-Your-Manure-Responsibly-p/ebn-007.htm>
- Syakila A., Kroeze C., 2011. "The global nitrous oxide budget revisited". *Greenhouse gas measurement and management*, 1(1), 17-26. Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3763/ghgmm.2010.0007>
- UNECE, 2014. "Options for Ammonia Mitigation: Guidance from the UNECE Task Force on Reactive Nitrogen", Centre for Ecology and Hydrology, Edinburgh, UK. Available at: <http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/510206/1/N510206CR.pdf>
- Webb J., Pain B., Bittman S., Morgan J., 2010. "Agriculture , Ecosystems and Environment The Impacts of Manure Application Methods on Emissions of Ammonia , Nitrous Oxide and on Crop Response — A Review." *"Agriculture, Ecosystems and Environment"* 137(1–2): 39–46. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2010.01.001>.

## **9. ANEXOS**

### **INDICE DE ANEXOS**

<b>ANEXO 1</b>	<b>INFORMACIÓN PÚBLICA RD FERTILIZACIÓN AGRARIA</b>
<b>ANEXO 2.</b>	<b>CEDULAS PARCELARIAS DE LA EXPLOTACIÓN AGRÍCOLA</b>
<b>ANEXO 3.</b>	<b>FICHAS DE EXPLOTACIÓN AGRÍCOLA DE LOS CULTIVOS</b>
<b>ANEXO 4.</b>	<b>INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA DE LA ZONA</b>
<b>ANEXO 5.</b>	<b>ANALÍTICA DE PURINES</b>
<b>ANEXO 6.</b>	<b>RESUTADOS CALCULADORA EMISIONES MITECO</b>
<b>ANEXO 7.</b>	<b>MAPAS DE ESCORRENTÍA Y RECARGA DE ACUIFEROS</b>

## ANEXO 1.

### INFORMACIÓN PÚBLICA REAL DECRETO DE FERTILIZACIÓN AGRARIA



MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, PESCA  
Y ALIMENTACIÓN

#ESTE  
VIRUS  
LO  
PARAMOS  
UNIDOS

**Presentado a información pública el borrador de real decreto para la nutrición sostenible en los suelos agrarios**

## **El Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación avanza en la mejora de la fertilización de los cultivos y la reducción del impacto ambiental**

- La mejora de la fertilización favorecerá la sostenibilidad productiva y ambiental de la agricultura, en línea con los objetivos de la Estrategia comunitaria "De la granja a la mesa"
- La norma busca reducir la emisión a la atmósfera de amoníaco y de otros gases de efecto invernadero y prevenir la posible contaminación de aguas por nitratos

23 de septiembre de 2020. El Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación ha iniciado el procedimiento de consulta pública del borrador de real decreto que establece la normativa para la nutrición sostenible en los suelos agrarios, cuyo plazo para la presentación de alegaciones finaliza el quince de octubre. Esta nueva norma responde al compromiso del MAPA de avanzar en la fertilización racional de los cultivos.

El real decreto tiene como principal objetivo incrementar la productividad de los suelos agrarios al tiempo que se disminuye el impacto ambiental de la aplicación de productos fertilizantes y otras fuentes de nutrientes o materia orgánica. Todo ello en línea con el cumplimiento de los objetivos previstos en la Estrategia comunitaria "De la granja a la mesa".

Uno de los elementos centrales de la norma reside en la necesidad de valorar todas las actividades que aportan nutrientes a los cultivos y las posibles vías por las que se pueden producir pérdidas, para conseguir aportar solo los nutrientes necesarios, en el momento, cantidad, forma y lugar adecuados. De esta forma, se busca reducir la emisión a la atmósfera de amoníaco y de otros

BOLETÍN ELECTRÓNICO  
[yprensa@mapa.es](mailto:yprensa@mapa.es)

Página 1 de 2

Esta información puede ser usada en parte o en su integridad sin necesidad de citar fuentes

[www.mapa.gob.es](http://www.mapa.gob.es)



Pº DE LA INFANTA ISABEL, 1  
28071 - MADRID  
TEL: 91 347 51 45 / 4580



MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, PESCA  
Y ALIMENTACIÓN

**#ESTE  
VIRUS  
LO  
PARAMOS  
UNIDOS**

gases de efecto invernadero, prevenir la posible contaminación de aguas por nitratos y evitar la contaminación de suelos con metales pesados.

Para ello, el proyecto de real decreto propone realizar un planteamiento global, que permita abordar consideraciones parciales de cada una de las diferentes fuentes de nutrientes y sus procesos en los suelos agrarios, para permitir optimizar su uso en la agricultura y reducir su impacto ambiental.

Para lograr dicho objetivo, la norma establece un conjunto de buenas prácticas de fertilización, como los requisitos generales de épocas de abonado, instrucciones respecto al apilamiento temporal de estiércoles o limitaciones al uso de la urea. Además, el real decreto incluye medidas de mitigación según el tipo de material utilizado, y regula la elaboración de un plan de abonado plurianual, el mantenimiento de un cuaderno de explotación y el asesoramiento técnico para una correcta implementación de la norma.

Con estas herramientas se facilita el cálculo de un balance de nutrientes que permita la elaboración del citado plan de abonado, en el que se tendrán en cuenta todas las entradas y salidas de nutrientes en el suelo. Los agricultores dispondrán de apoyos para incorporar estas herramientas a su actividad.

Por otra parte, se establece que la utilización de residuos no peligrosos en los suelos agrarios queda vinculada a su aptitud agronómica, siguiendo la inspiración del modelo de economía circular que promueve la Unión Europea. También se regula el aporte de metales pesados, limitando su presencia en los suelos agrarios por razones de salud humana y de fertilidad.

Por último, se incluyen también determinadas disposiciones relativas a los productores de fertilizantes encaminadas a un mejor conocimiento y control del sector.

SEO SUELO TECNICO  
[ensa@mapa.es](mailto:ensa@mapa.es)

Esta información puede ser usada en parte o en su integridad sin necesidad de citar fuentes

Pº DE LA INFANTA ISABEL, 1  
28071 - MADRID  
TEL: 91 347 51 45 / 4580

gina 2 de 2

[www.mapa.gob.es](http://www.mapa.gob.es)





**ANEXO 2. CEDULAS PARCELARIAS DE LA EXPLOTACIÓN AGRÍCOLA.**

7/10/2020

Datos de parcela

**SIGPAC Navarra**
 Nafarroako  
Gobernua
 
 Gobierno  
de Navarra
**Datos de parcela****Información SIGPAC 2020**

Recinto	Uso 2020	Región	Tipo riego	Coeficiente admisibilidad	Superf. (Ha)	Pendiente (%)
1	TIERRA ARABLE	1101	REGADÍO	-	2,28	3,40
2	TIERRA ARABLE	0701	SECANO	-	1,39	6,70
3	PASTO ARBUSTIVO	0701	SECANO	45	0,32	3,80
4	IMPRODUCTIVOS	-	REGADÍO	-	0,05	2,30
5	PASTO CON ARBOLADO	0701	SECANO	0	0,01	23,90

Información publicada de acuerdo a la [Orden Foral 90/2015 de 10 de marzo](#).

[Solicitud de modificaciones](#) a la información SIGPAC. [Manual](#) del proceso de solicitud

 Desarrollado por
 
**tracasa**  
instrumental

7/10/2020

Datos de parcela

**SIGPAC Navarra**Nafarroako  
Gobernua  Gobierno  
de Navarra**Datos de parcela**

**Código de Municipio** 142    **Municipio** LARRAGA    **Polígono** 13    **Parcela** 421  
**Superficie catastral** 2,39 Ha

**Información SIGPAC 2020**

Recinto	Uso 2020	Región	Tipo riego	Superf. (Ha)	Pendiente (%)
1	TIERRA ARABLE	1101	REGADÍO	2,39	3,10

Información publicada de acuerdo a la [Orden Foral 90/2015 de 10 de marzo](#).

[Solicitud de modificaciones](#) a la información SIGPAC. [Manual](#) del proceso de solicitud

Desarrollado por  **tracasa**  
instrumental



7/10/2020

Datos de parcela

**SIGPAC Navarra**

Nafarroako  
Gobernua

Gobierno  
de Navarra

**Datos de parcela**

**Código de Municipio** 142    **Municipio** LARRAGA    **Polígono** 13    **Parcela** 455

**Superficie catastral** 15,03 Ha

**Información SIGPAC 2020**

Recinto	Uso 2020	Región	Tipo riego	Coefficiente admisibilidad	Superf. (Ha)	Pendiente (%)
1	TIERRA ARABLE	1101	REGADÍO	-	14,87	6,20
2	TIERRA ARABLE	0701	SECANO	-	0,13	5,10
3	PASTO ARBUSTIVO	1101	REGADÍO	0	0,03	3,50

Información publicada de acuerdo a la [Orden Foral 90/2015 de 10 de marzo](#).

[Solicitud de modificaciones](#) a la información SIGPAC. [Manual](#) del proceso de solicitud

Desarrollado por  **tracasa**  
instrumental

7/10/2020

Datos de parcela

**SIGPAC Navarra**

 Gobierno de Navarra  
 Nafarroako Gobernua
**Datos de parcela****Información SIGPAC 2020**

Recinto	Uso 2020	Región	Tipo riego	Coefficiente admisibilidad	Superf. (Ha)	Pendiente (%)
1	TIERRA ARABLE	1101	REGADÍO	-	31,92	1,40
2	VIÑEDO	0702	REGADÍO	-	1,43	1,80
3	TIERRA ARABLE	0702	REGADÍO	-	0,13	1,10
4	FRUTOS SECOS	0702	REGADÍO	-	0,22	1,20
5	FRUTAL (ESTADO DE ABANDONO)	0702	REGADÍO	-	0,09	2,20
6	VIÑEDO	0702	REGADÍO	-	0,60	1,00
7	VIÑEDO	0702	SECANO	-	0,008	2,60
8	TIERRA ARABLE	0701	SECANO	-	0,10	3,40
9	VIÑEDO	0702	SECANO	-	0,11	3,80
10	EDIFICACIONES	-	SECANO	-	0,02	1,00
11	EDIFICACIONES	-	SECANO	-	0,002	1,50
12	VIALES	-	REGADÍO	-	0,23	1,00
13	PASTO ARBUSTIVO	1101	REGADÍO	0	0,18	1,10
14	TIERRA ARABLE	1101	REGADÍO	-	0,29	0,90
15	OLIVAR	0702	REGADÍO	-	0,09	0,90
16	TIERRA ARABLE	0702	REGADÍO	-	0,02	1,50
19	FRUTAL	0702	REGADÍO	-	0,03	1,40
20	IMPRODUCTIVOS	-	REGADÍO	-	0,03	1,00
21	FRUTOS SECOS	0702	REGADÍO	-	0,03	1,80
22	OLIVAR	0702	REGADÍO	-	0,02	1,40
23	FRUTOS SECOS	0702	REGADÍO	-	0,02	2,60
24	FRUTAL (ESTADO DE ABANDONO)	0702	REGADÍO	-	0,01	2,90
25	OLIVAR	0702	REGADÍO	-	0,01	1,30
26	IMPRODUCTIVOS	-	REGADÍO	-	0,01	0,80
27	IMPRODUCTIVOS	-	REGADÍO	-	0,002	1,00

[sigpac.navarra.es/informes/parcela.aspx?C=53&PO=1&PA=665&CP=0&RG=0&lang=es](http://sigpac.navarra.es/informes/parcela.aspx?C=53&PO=1&PA=665&CP=0&RG=0&lang=es)

**ANEXO 3. FICHAS DE EXPLOTACIÓN AGRÍCOLA DE LOS CULTIVOS.**

<b>Ficha de exp.agricola. Entradas y salidas</b>	
<b>Identificación de la(s) finca(s)</b>	
Parcela(s)/Polígono/Municipio	455-421-420 /13/Larraaga
Superficie (Ha)	19,67
<b>Datos de la siembra:</b>	
Cultivo	Maiz grano
Fecha de siembra:	14/05/219
Cantidad de semilla (Kg):	680,00
Dosis de siembra (Kg/ha):	34,57
<b>Fertilización de presiembra:</b>	
Fecha aplicación	24/04/2019
Producto aplicado	Purin de porcino
Cantidad Aplicada (Kg):	1.365.000,00
Dosis (Kg/ha):	69.395,02
<b>Fertilización de cobertera</b>	
Fecha de aplicación:	01/07/2019
Producto aplicado:	Urea 46%
Cantidad Aplicada (Kg):	9.540,00
Dosis (Kg/Ha):	485,00
<b>Datos de la cosecha:</b>	
Fecha de recolección	15/01/2020
Cantidad cosecha grano (Kg):	197.893,00
Cantidad de cosecha Paja (Kg):	?
Rendimiento Grano (Kg/Ha):	10.060,65
Rendimiento Paja (Kg/Ha):	?
<b>Observaciones:</b>	
<p>Peso de la cosecha de grano con humedad corregida al 14%</p> <p>En la pardela 420 se siembra solo el recinto 1, pues el resto es seco.</p>	


<b>Ficha de exp.agricola. Entradas y salidas</b>	
<b>Identificación de la(s) finca(s)</b>	
Parcela(s)/Polígono/Municipio	665/1/Berbinzana
Superficie (Ha)	31,92
<b>Datos de la siembra:</b>	
Cultivo	Trigo duro
Fecha de siembra:	09/12/2019
Cantida de semilla (kg):	6.780,00
Dosis de siembra (kg/Ha):	212,41
<b>Fertilización de presiembra:</b>	
Fecha aplicación	25/09/2019
Producto aplicado	Purin de porcino
Cantidad Aplicada (tn)	2.520,00
Dosis (tn / ha)	78,95
<b>Fertilización de cobertera</b>	
Fecha de aplicación:	07/04/2020
Producto aplicado:	Urea 46%
Cantidad Aplicada (Kg):	6.600,00
Dosis (Kg/Ha):	206,77
<b>Datos de la cosecha:</b>	
Fecha de recolección	12/07/2020
Cantidad cosecha grano (Kg):	209.309,00
Cantidad de cosecha Paja (Kg):	72440,00
Rendimiento Grano (Kg/Ha):	6.557,30
Rendimiento Paja (Kg/Ha):	2.269,42
<b>Observaciones:</b>	
Cosecha de grano a humedad inferior al 12,5%	
La superficie de Trigo en la parcela corresponde con el recinto 1 según cedula parcelaria.	



**ANEXO 4. INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA DE LA ZONA.****Olite MAN****ESTACIÓN MANUAL**

**Latitud:** 4704973 **Longitud:** 610487 **Altitud:** 389 m  
**Periodo Precipitación:** 1931-2019 **Periodo Temperatura:** 1938-2019

**Clasificaciones climáticas**

**Köppen:**  **Csa: Clima mediterráneo.**  
 Clima templado con veranos cálidos y secos. Existe un mínimo marcado de precipitación en verano.

**Papadakis:**  Grupo climático: **Mets Mediterráneo templado (seco)**  
 Tipo de invierno: De avena (Av)  
 Tipo de verano: De maíz (M)  
 Régimen hídrico: Mediterráneo seco (Me)  
 Fórmula climática: AvMMe

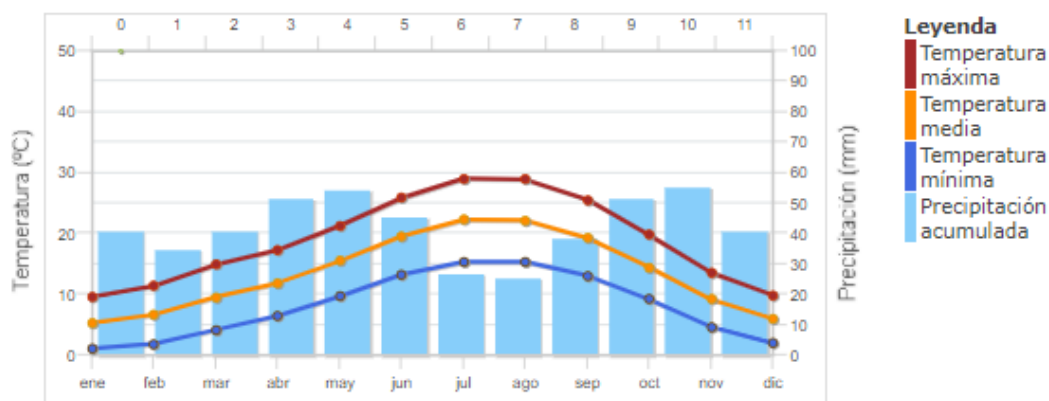
Valores calculados con todos los datos disponibles hasta 2019 incluido.

Parámetro	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
Precipitación media (mm)	40.8	34.7	40.5	51.5	54.1	45.1	26.5	25.3	38.1	51.2	55.1	40.8	503.7
Precipitación máxima 24 horas (mm)	45.0	50.0	40.6	61.5	55.5	75.0	111.0	65.0	66.0	86.5	86.5	50.3	111.0
Días de lluvia	9.6	8.8	8.9	9.1	9.2	6.7	4.4	4.4	6.1	8.4	10.0	9.9	95.5
Días de nieve	1.6	1.4	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.0	5.4
Días de granizo	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7
Temperatura máxima absoluta (°C)	21.0	25.0	29.2	34.0	38.2	41.0	42.0	42.6	40.8	33.0	29.8	21.0	42.6
Temperatura media de máximas (°C)	9.6	11.4	14.9	17.3	21.3	25.9	29.1	28.9	25.6	19.8	13.6	9.9	19.0
Temperatura media (°C)	5.3	6.7	9.6	11.9	15.5	19.6	22.3	22.2	19.3	14.5	9.2	6.0	13.5
Temperatura media de mínimas (°C)	1.1	1.9	4.2	6.5	9.7	13.3	15.4	15.4	13.1	9.2	4.7	2.0	8.0
Temperatura media de mínimas absolutas (°C)	-4.7	-4.4	-1.4	0.9	3.7	7.8	10.7	10.2	7.4	2.7	-1.5	-3.9	2.3
Temperatura mínima absoluta (°C)	-11.0	-11.6	-7.5	-3.0	-0.2	3.0	7.0	5.5	4.0	-3.0	-7.5	-11.9	-11.9
Días de helada	12.8	9.1	3.7	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	3.5	9.5	39.8
ETP, índice de Thornthwaite (mm)	10.5	14.5	30.7	45.8	76.8	109.4	134.2	124.0	88.2	52.8	22.9	11.7	721.4

**Precipitación máxima histórica en 24 horas** para un periodo de retorno de 10 años: 65.8 mm

**Fecha última helada primavera:** 17 de Abril  
 (fecha después de la cual la probabilidad de helada es del 10%)

**Fecha primera helada otoño:** 31 de Octubre  
 (fecha antes de la cual la probabilidad de helada es del 10%)

**Diagrama ombrotérmico**

[http://meteo.navarra.es/climatologia/fichasclimaticas\\_estacion.cfm?IDestacion=186](http://meteo.navarra.es/climatologia/fichasclimaticas_estacion.cfm?IDestacion=186)

**ANEXO 5. ANALÍTICAS.**

Se han eliminado las referencias al laboratorio así como al cliente por motivos de confidencialidad.

**ANALITICA DEL PURÍN EMPLEADO.**

<u>Datos facilitados por el cliente</u>			F. de recepción:	15/11/2017
Referencia: Larraporc 15/11/17			F. inicio de análisis:	15/11/2017
Tipo de Muestra: Fertilizantes Organicos-Purin-Bruto AAJ			F. final de análisis:	28/11/2017
<u>Análisis realizados:</u>				
Determinación	Resultados		Método analítico	
Materia Seca	1,64	%	16,4	Kg/T PT004
Nitrógeno total	13,03	% N sms	2,14	Kg/T PT190
Nitrógeno amoniacal	8,81	% N-NH <sub>4</sub> sms	1,45	Kg/T N-NH <sub>4</sub> PT038 *
Fósforo	5,58	% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> sms	0,91	Kg/T P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> PT020 *
Potasio	15,34	% K <sub>2</sub> O sms	2,52	Kg/T K <sub>2</sub> O PT020 *
Conductividad Eléctrica (1:5)	2,62	dS/m		PT040 *
pH	8,19	--		PT038 *
<u>Observaciones:</u>				

**ANALITICA DE ACUMULACIÓN CONTAMINANTE EN PARCELA MAIZ**

Tipo de Muestra: Tierra

Referencia: 3

Muestra:

Titular:

Punto/Prof.: 0 /

Mun./Pol./Par.: / 13 / 455

Cultivo: MAIZ

Análisis realizados:

Determinación	Resultado	Unidades	Método analítico
Fosforo (P2O5)	57,84	mg/Kg	PT072 - Metodo Olsen
C.E. (1:1)	3,04	dS/m	PT076

**ANALITICA DE ACUMULACIÓN CONTAMINANTE EN PARCELA TRIGO**

Tipo de Muestra: Tierra

Referencia: 4

Muestra:

Titular:

Punto/Prof.: 0 /

Mun./Pol./Par.: / 1 / 665

Cultivo: MAIZ

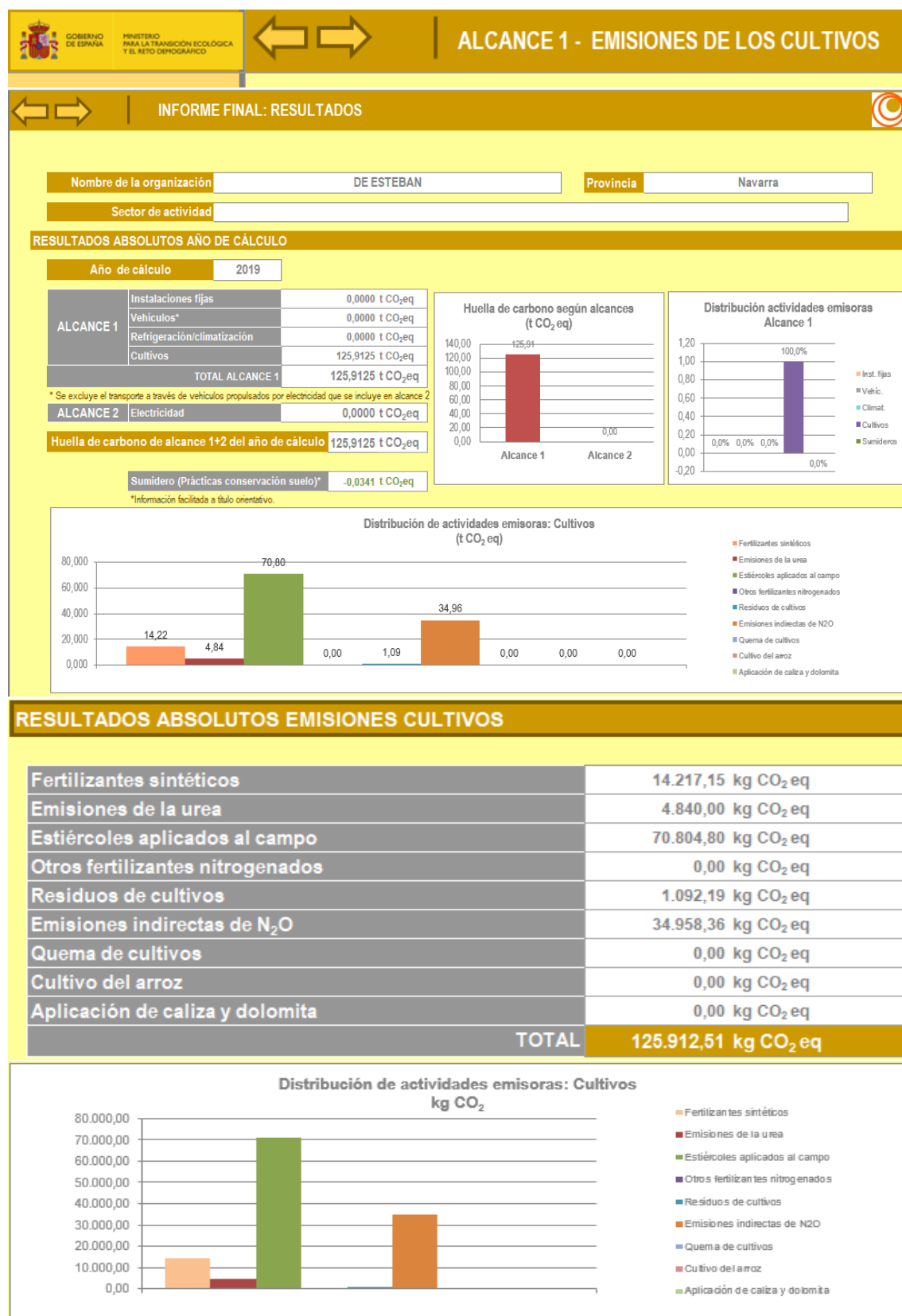
Análisis realizados:

Determinación	Resultado	Unidades	Método analítico
Fosforo (P2O5)	50,79	mg/Kg	PT072 - Metodo Olsen
C.E. (1:1)	,35	dS/m	PT076



## ANEXO 6. RESULTADOS CALCULADORA DE EMISIONES MITECO

## CULTIVO DE TRIGO.



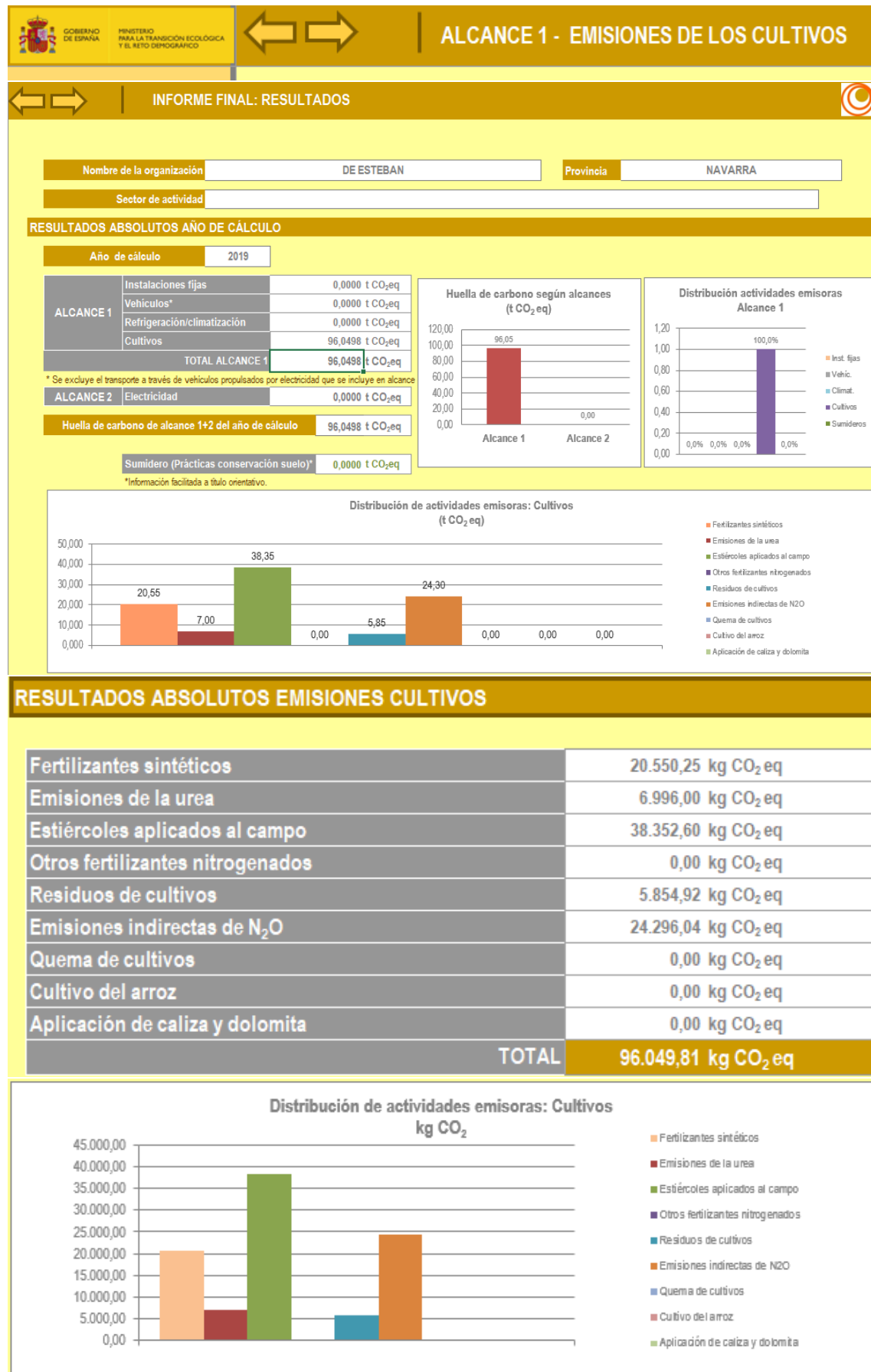
A. EMISIONES DIRECTAS DE N <sub>2</sub> O										
FERTILIZANTES NITROGENADOS										
Fertilizante	Cantidad (kg)	% N	Nitrógeno (kg N)	Factor emisión (kg N <sub>2</sub> O-N/kg N aplicado)		Emisiones parciales (kg N <sub>2</sub> O)	Emisiones parciales (kg CO <sub>2</sub> -eq)	EMISIONES TOTALES FERT. SINTÉTICOS (kg CO <sub>2</sub> -eq)		
				Por defecto	Otros					
Urea	6600,0	46%	3.036,00	0,010		47,71	14.217,15	14.217,15		
ESTIÉRCOLES APLICADOS AL CAMPO										
Animal de procedencia del estiércol	Cantidad (kg)	Cantidad (m <sup>3</sup> )	Factor m <sup>3</sup> a kg	kg N / t	N (kg)	Factor emisión (kg N <sub>2</sub> O-N/kg N aplicado)		Emisiones parciales (kg N <sub>2</sub> O)	Emisiones parciales (kg CO <sub>2</sub> -eq)	EMISIONES TOTALES ESTIÉRCOLES (kg CO <sub>2</sub> -eq)
						Por defecto	Otros			
Porcino	2520000,0		1,02	6,00	15.120,00	0,010		237,60	70.804,80	70.804,80
RESIDUOS DE CULTIVOS										
Cultivo	Producción anual (kg)	% residuo en campo <sup>(1)</sup>	Residuo en el campo (kg N)	Factor emisión (kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)		Emisiones parciales (kg N <sub>2</sub> O)	Emisiones parciales (kg CO <sub>2</sub> -eq)	EMISIONES TOTALES RESIDUOS CULTIVOS (kg CO <sub>2</sub> -eq)		
				Por defecto	Otros					
Trigo	209309,0	36,01%	233,23	0,010		3,67	1.092,19	1.092,19		
B. EMISIONES INDIRECTAS DE N <sub>2</sub> O										
EMISIONES INDIRECTAS DE N <sub>2</sub> O										
Fertilizante	Nitrógeno (kg N)	Factor emisión (kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)		Emisiones parciales (kg N <sub>2</sub> O)	Emisiones parciales (kg CO <sub>2</sub> -eq)	EMISIONES INDIRECTAS TOTALES (kg CO <sub>2</sub> -eq)				
		Por defecto	Otros							
Lixiviación y Escorrentía	5516,8	0,0075		65,02	19.375,68	34.958,36				
Deposición Atmosférica	3327,6	0,010		52,29	15.582,68					

A. CONSUMO DE UREA - EMISIONES DE CO<sub>2</sub>

C. CONSUMO DE UREA - EMISIONES DE CO<sub>2</sub>

C. CONSUMO DE UREA - EMISIONES DE CO<sub>2</sub>

CONSUMO DE UREA				
Fertilizante	Cantidad (kg)	Factor emisión (kg CO <sub>2</sub> -C/kg aplicado)		EMISIONES TOTALES CONSUMO UREA (kg CO <sub>2</sub> )
		Por defecto	Otros	
Urea	6600,0	0,200		4.840,00

**CULTIVO MAIZ**

A. EMISIONES DIRECTAS DE N <sub>2</sub> O									
FERTILIZANTES NITROGENADOS									
Fertilizante	Cantidad (kg)	% N	Nitrógeno (kg N)	Factor emisión (kg N <sub>2</sub> O-N/kg N aplicado)		Emisiones parciales (kg N <sub>2</sub> O)	Emisiones parciales (kg CO <sub>2</sub> -eq)	Emisiones parciales (kg CO <sub>2</sub> -eq)	EMISIONES TOTALES FERT. SINTÉTICOS (kg CO <sub>2</sub> -eq)
				Por defecto	Otros				
Urea	9540,0	46%	4.388,40	0,010		68,96	20.550,25		20.550,25
ESTIÉRCOLES APLICADOS AL CAMPO									
Animal de procedencia del estiércol	Cantidad (kg)	Cantidad (m <sup>3</sup> )	Factor m <sup>3</sup> a kg	kg N / t	N (kg)	Factor emisión (kg N <sub>2</sub> O-N/kg N aplicado)		Emisiones parciales (kg N <sub>2</sub> O)	Emisiones parciales (kg CO <sub>2</sub> -eq)
						Por defecto	Otros		
Porcino	1365000,0		1,02	6,00	8.190,00	0,010		128,70	38.352,60
									38.352,60
RESIDUOS DE CULTIVOS									
Cultivo	Producción anual (kg)	% residuo en campo <sup>(1)</sup>	Residuo en el campo (kg N)	Factor emisión (kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)		Emisiones parciales (kg N <sub>2</sub> O)	Emisiones parciales (kg CO <sub>2</sub> -eq)	Emisiones parciales (kg CO <sub>2</sub> -eq)	EMISIONES TOTALES RESIDUOS CULTIVOS (kg CO <sub>2</sub> -eq)
				Por defecto	Otros				
Maíz	197893,0	100,00%	1.250,29	0,010		19,65	5.854,92		5.854,92
B. EMISIONES INDIRECTAS DE N <sub>2</sub> O									
EMISIONES INDIRECTAS DE N <sub>2</sub> O									
Fertilizante	Nitrógeno (kg N)	Factor emisión (kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)		Emisiones parciales (kg N <sub>2</sub> O)	Emisiones parciales (kg CO <sub>2</sub> -eq)	Emisiones parciales (kg CO <sub>2</sub> -eq)	Emisiones indirectas totales (kg CO <sub>2</sub> -eq)		
		Por defecto	Otros						
Lixiviación y Escorrentía	4148,6	0,0075		48,89	14.570,50		24.296,04		
Deposición Atmosférica	2076,8	0,010		32,64	9.725,55				

C. CONSUMO DE UREA - EMISIONES DE CO<sub>2</sub>

CONSUMO DE UREA				
Fertilizante	Cantidad (kg)	Factor emisión (kg CO <sub>2</sub> -C/kg aplicado)		EMISIONES TOTALES CONSUMO UREA (kg CO <sub>2</sub> )
		Por defecto	Otros	
Urea	9540,0	0,200		6.996,00

## ANEXO 7. MAPAS DE ESCORRENTÍA Y RECARGA DE ACUIFEROS (MODELO SIMPA 2019).

<https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/agua/simpa.aspx>

